



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΟΥ
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΡΕΚΑΒΕΤΣΙ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΠΑΚΡΑΤΣΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ - ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΜΑΡΙΑ ΜΕΝΕΓΑΚΗ, ΑΝΑΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπακράτσης Δημήτριος - Ιωάννης

Επιβλέπουσα: Μαρία Μενεγάκη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις 12/07/2019

Μενεγάκη Μαρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Δαμίγος Δημήτριος, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2019

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την μελέτη, τη διερεύνηση των παραμέτρων και τον σχεδιασμό μιας εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος σιδηρονικελίου της εταιρείας **Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ** στην περιοχή Ρεκαβέτσι στο νομό Ευβοίας. Το συγκεκριμένο κοίτασμα έχει μία ιδιαιτερότητα, που έχει να κάνει με το θείο που εμφανίζεται σε μεγάλες περιεκτικότητες μέσα σε αυτό. Οι υψηλές περιεκτικότητες σε θείο επηρεάζουν και δημιουργούν προβλήματα στη μεταλλουργική επεξεργασία. Στόχος είναι να διερευνηθούν οι παράμετροι που επιδρούν στην εκμετάλλευση του κοιτάσματος και να πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός της

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε με την επίβλεψη της Μαρίας Μενεγάκη, Αναπληρώτριας Καθηγήτριας Ε.Μ.Π. την οποία θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τόσο για τη συμβολή της στη διαμόρφωση του παρόντος θέματος, όσο και για την πολύτιμη βοήθεια, στήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Η συνεργασία μας ήταν άριστη και οι γνώσεις που μου μετέδωσε πολύ σημαντικές.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ και πιο συγκεκριμένα το γεωλόγο της κ Σπύρο Παππά, ο οποίος δέχθηκε εξ αρχής να με βοηθήσει και μου παρείχε όλα τα απαραίτητα στοιχεία και πληροφορίες που χρειαζόμουν.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να δώσω και στον κ. Μάρκο Ζέρβα, διευθυντή του εργοστασίου της Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ στη Λάρυμνα. Η συμβολή του στην ολοκλήρωση της εργασίας ήταν καθοριστική και η βοήθειά του, με τα δεδομένα που μου παραχώρησε αλλά και με τις απαντήσεις στις απορίες μου, ήταν πολύτιμη.

Δημήτριος-Ιωάννης Μπακράτσης

Ιούλιος 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνηθούν οι παράμετροι που επιδρούν στην εκμετάλλευση του σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος της Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ στην περιοχή Ρεκαβέτσι, στην κεντρική Εύβοια και να πραγματοποιηθεί ο σχεδιασμός της. Πιο συγκεκριμένα, βασικό πρόβλημα του υπό διερεύνηση κοιτάσματος είναι η υψηλή περιεκτικότητα σε θείο σε ορισμένα τμήματά του. Το γεγονός αυτό επηρεάζει τη μεταλλουργική επεξεργασία κι επιδρά στην οικονομικότητα της εκμετάλλευσης. Προκειμένου να διερευνηθεί ο τρόπος και ο βαθμός επίδρασης του θείου στην εκμετάλλευση, εξετάσθηκαν καταρχήν, τα προβλήματα που δημιουργούνται στην μεταλλουργική επεξεργασία του μεταλλεύματος λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε θείο, καθώς και ο τρόπος αντιμετώπισής τους. Από την παραπάνω ανάλυση, υπολογίστηκε η «κρίσιμη» περιεκτικότητα του θείου στο μέταλλευμα πέραν της οποίας απαιτείται ειδική μεταλλουργική επεξεργασία. Στη συνέχεια, εισήχθησαν τα δεδομένα των διαθέσιμων γεωτρήσεων στο μεταλλευτικό πρόγραμμα SURPAC και διαμορφώθηκε το μοντέλο του κοιτάσματος. Ακολούθησε ο βέλτιστος σχεδιασμός της υπαίθριας εκμετάλλευσης του κοιτάσματος με βάση το κριτήριο της μέγιστης αποληψιμότητας κι εξετάσθηκαν από οικονομικής πλευράς δύο εναλλακτικά σενάρια. Στο πρώτο σενάριο, η περιοχή του κοιτάσματος με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο θεωρήθηκε ως περιοχή αγόνων και στο δεύτερο ως κοίτασμα. Στη συνέχεια εκτιμήθηκαν τα κόστη, τα έσοδα αλλά και τα κέρδη. Από την αξιολόγηση των δύο εναλλακτικών σεναρίων προέκυψε ότι η περιοχή κοιτάσματος με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο δεν μπορεί να εξαιρεθεί από την εκμετάλλευση, καθώς ο όγκος των αποθεμάτων σε μία τέτοια περίπτωση μειώνεται σημαντικά. Τέλος, εξετάσθηκε η οικονομική επιβάρυνση από την επιπλέον μεταλλουργική επεξεργασία που απαιτείται για αυτό το τμήμα του κοιτάσματος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, αν και το κόστος της μεταλλουργικής επεξεργασίας αυξάνεται σημαντικά λόγω της ύπαρξης του θείου, η απώλεια κερδών της συνολικής εκμετάλλευσης δεν είναι μεγάλη, ειδικά όταν η τιμή πώλησης του νικελίου κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα.

ABSTRACT

The purpose of the current diploma thesis is to investigate the parameters that affect the exploitation of the ferronickel deposit that belongs to LARCO G.M.M.S.A. in Rekavetsi region, located at central Evia and to carry out its design plan. More specifically, the major issue of the field which is under investigation, is the high sulfur content in certain parts of it. This fact affects the metallurgical processing and the economy of the exploitation. First of all, in order to define the way that sulfur influences the exploitation, the problems caused to the metallurgical processing due to the high sulfur concentrations in the ore were examined as well as the ways that we can deal with that problems. From the analysis a “critical” sulfur concentration was calculated, indicating that after this “critical” measurement, special metallurgical processing is required. In addition, the data from the existing drills were inserted in the mining program SURPAC and the reserve’s model was constructed. With the aid of the program the best possible deposit exploitation plan was developed having as criteria the maximum recovery of the reserve. Using as a criterion the economic viability of the exploitation, two alternative scenarios were examined. In the first scenario, the area of the ore deposit having a high concentration in sulfur was considered to be a poor-quality area and excluded from exploitation, while in the second was considered to be part of the ore deposit. In both scenarios the costs, the incomes and the profits were evaluated. From the evaluation of the scenarios it came up that the area of the reserve with the high sulfur concentrations could not be excluded from the mining processing due to a great decline in the mined ore volume. Last but not least, the financial impact of the special metallurgical processing, which is needed for the high sulfur concentrations part of the deposit, was assessed. According to the results, although the cost of metallurgical processing will rise significantly due to the presence of sulfur, the total financial loss will not be significant especially when the nickel’s price is high.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	3
Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Λίστα Εικόνων, Πινάκων, Διαγραμμάτων.....	10
Κεφάλαιο 1: Νικέλιο.....	15
1.1 Ιδιότητες Νικελίου.....	15
1.2 Χρήσεις Νικελίου.....	15
1.3 Κοιτάσματα Νικελίου.....	17
1.3.1 Νικελιούχα Κοιτάσματα Παγκοσμίως.....	18
1.3.2 Νικέλιο στον Ελλαδικό χώρο.....	21
1.4 Τιμή Νικελίου.....	22
Κεφάλαιο 2: Εταιρεία Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ	24
2.1 Γενικές Πληροφορίες.....	24
2.2 Παραγωγή.....	25
2.3 Ιδιοκτησίες.....	26
2.3.1 Μεταλλεία Εύβοιας.....	26
2.3.2 Μεταλλεία Αγίου Ιωάννη.....	27
2.3.3 Μεταλλεία Καστοριάς.....	27
2.3.4 Λιγνιτωρυχείο Σερβίων.....	27
2.3.5 Μεταλλουργικό Εργοστάσιο Λάρυμνας.....	28

Κεφάλαιο 3: Γεωλογία, Κοιτασματολογία και Ορυκτολογία.....	31
3.1.1 Γεωλογία Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας.....	31
3.1.2 Στρωματογραφία.....	31
3.2 Υπολειμματικά κοιτάσματα.....	33
3.3 Λατερίτες.....	34
3.3.1 Αποσάθρωση - Υδρόλυση.....	34
3.3.2 Λατεριτικοί φλοιοί αποσάθρωσης.....	34
3.3.3 Νικελιούχοι Λατερίτες.....	36
3.4 Υπολειμματικά κοιτάσματα Νικελίου στην Ελλάδα.....	37
 Κεφάλαιο 4: Προβλήματα που αφορούν το θείο (S).....	40
4.1 Θείο στους χάλυβες.....	40
4.2 Θείο στα μεταλλεύματα.....	40
4.3 Αντιμετώπιση θείου στην παραγωγική διαδικασία.....	46
 Κεφάλαιο 5: Σχεδιασμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης Στην Τοποθεσία Ρεκαβέτσι.....	52
5.1 Γεωτρήσεις και Βάση Δεδομένων.....	54
5.2 Προσδιορισμός τιμών κατά μήκος των γεωτρήσεων.....	56
5.3 Block Model.....	57
5.3.1 Γενικές πληροφορίες για τα Block Models.....	57
5.3.2 Κατασκευή Block Model.....	57
5.3.3 Block Model και «Κρίσιμη» περιεκτικότητα σε θείο.....	65
5.4 Προσδιορισμός ορίου εκσκαφής.....	71
5.5 Σχεδιασμός της εκμετάλλευσης.....	73

5.6 Υπολογισμός Όγκου Εκσκαφών.....	77
-------------------------------------	----

Κεφάλαιο 6: Εκτιμήσεις Κόστους, Εσόδων και Κερδών.....81

6.1 Κόστος Εκμετάλλευσης.....	81
6.1.1 Πρώτη Περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται άγονα).....	81
6.1.2 Δεύτερη Περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα – Επιπλέον επεξεργασία στο εργοστάσιο).....	83
6.2 Έσοδα και Κέρδη.....	86
6.2.1 Πρώτη Περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται άγονα).....	86
6.2.2 Δεύτερη Περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα – Επιπλέον επεξεργασία στο εργοστάσιο).....	87
6.3 Τρίτη Περίπτωση (Υπόθεση - αν όλο το κοίτασμα είχε $S < 0,21\%$).....	88

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα.....92

Βιβλιογραφία.....95

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ, ΠΙΝΑΚΩΝ, ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Εικόνες

Εικόνα 1.1: Εξάπλωση νικελιούχων κοιτασμάτων παγκοσμίως (Αποστολίκας, 2010)	18
Εικόνα 1.2: Χάρτης χωρών με τη μεγαλύτερη εξορυκτική δραστηριότητα νικελίου (Commodity.com).....	19
Εικόνα 1.3: Χάρτης με τις περιοχές μεταλλευτικής δραστηριότητας για εξόρυξη σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων στην Ελλάδα.....	22
Εικόνα 2.1: Το εργοστάσιο μεταλλουργίας της ΛΑΡΚΟ στη Λάρυμνα.....	24
Εικόνα 2.2: Μεταλλείο σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος της ΛΑΡΚΟ στην Εύβοια...	26
Εικόνα 2.3: Το λιγνιτωρυχείο της ΛΑΡΚΟ στα Σέρβια.....	28
Εικόνα 2.4: Σχεδιάγραμμα παραγωγής σιδηρονικελίου.....	29
Εικόνα 2.5: Μετάλλευμα Σιδηρονικελίου που ξεφορτώθηκε από πλοίο.....	30
Εικόνα 3.1: Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας (Κατσικάτσος, 1986).....	32
Εικόνα 3.2: Ανάπτυξη λατεριτικού μανδύα αποσάθρωσης (Τριανταφυλλίδης, 2015).	36
Εικόνα 3.3: Τυπικό πέτρωμα σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος.....	37
Εικόνα 3.4: Σχηματική τομή του Νικελιούχου κοιτάσματος στη Λοκρίδα της Εύβοιας (Τριανταφυλλίδης, 2015).....	38
Εικόνα 3.5: Σχηματική τομή του αλλόχθονου (καρστικού) κοιτάσματος Νικελίου στον Άγιο Ιωάννη, Λάρυμνα Φθιώτιδας (Τριανταφυλλίδης, 2015).....	39
Εικόνα 4.1: Σχηματική απεικόνιση μεταλλάκτη OBM (Oxygen Bottom Maxhutte)...	47
Εικόνα 5.1: Η περιοχή του μεταλλείου στο χάρτη (google earth).....	53
Εικόνα 5.2: Κάτοψη του μεταλλείου από δορυφόρο (google earth).....	54
Εικόνα 5.3: Οι γεωτρήσεις στο αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής (I).....	55
Εικόνα 5.4: Οι γεωτρήσεις στο αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής (II).....	55

Εικόνα 5.5: Αρχείο για τον προσδιορισμό των τιμών κατά μήκος των γεωτρήσεων.....	56
Εικόνα 5.6: Το Block Model του κοιτάσματος.....	58
Εικόνα 5.7: Το Block Model και το αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο στο Ρεκαβέτσι.....	58
Εικόνα 5.8: Block Model με περιορισμό $Ni \geq 0,5$	59
Εικόνα 5.9: Χρωματισμένο Block Model ανάλογα με την περιεκτικότητα σε νικέλιο.....	60
Εικόνα 5.10: Όριο γεωτρήσεων.....	61
Εικόνα 5.11: Block Model με περιορισμούς $Ni \geq 0,5$ και όριο γεωτρήσεων.....	62
Εικόνα 5.12: Block Model και αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο.....	62
Εικόνα 5.13: Κάτοψη του κοιτάσματος – με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα blocks με περιεκτικότητα άνω του 0,21%.....	65
Εικόνα 5.14: Πλάγια όψη κοιτάσματος - με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα blocks με περιεκτικότητα άνω του 0,21%.....	66
Εικόνα 5.15: Δεύτερη πλάγια όψη - με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα blocks με περιεκτικότητα άνω του 0,21%.....	66
Εικόνα 5.16: Όριο σχεδιασμού – Ανώτερο όριο (μπλε γραμμή) και πυθμένας (λευκή γραμμή).....	70
Εικόνα 5.17: Κάτοψη κώνου εκσκαφής και Block Model.....	71
Εικόνα 5.18: Πλάγια όψη κώνου εκσκαφής και Block Model.....	71
Εικόνα 5.19: Τελικό όριο στο αρχικό τοπογραφικό ανάγλυφο.....	72
Εικόνα 5.20: Τελικός σχεδιασμός εκμετάλλευσης.....	73
Εικόνα 5.21: Άποψη της τελικής μορφής της εκμετάλλευσης.....	75
Εικόνα 5.22: Πλάγια όψη σχεδιασμού βαθμίδων.....	75
Εικόνα 5.23: Ο συνολικός σχεδιασμός των βαθμίδων και το Block Model του κοιτάσματος.....	76
Εικόνα 5.24: Διαμόρφωση ενιαίου αρχείου ισοϋψών και σχεδιασμού.....	77
Εικόνα 5.25: Διαμόρφωση Ψηφιακού Μοντέλου της εκσκαφής.....	77

Εικόνα 5.26: Σκάφη σχεδιασμού και τοπογραφικό ανάγλυφο.....	78
Εικόνα 5.27: Κάτοψη ενιαίου ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου και σκάφης σχεδιασμού.....	78
Εικόνα 5.28: Τελικό ψηφιακό μοντέλο και γεωτρήσεις.....	79
Εικόνα 5.29: Τελικό ψηφιακό μοντέλο και block model.....	79

Πίνακες

Πίνακας 1.1: Οι 10 μεγαλύτερες χώρες σε αποθέματα και παραγωγή νικελίου (USGS).	19
Πίνακας 4.1: Ετήσιος μέσος όρος περιεχόμενου θείου μεταλλευμάτων από το 1995 μέχρι σήμερα (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ).....	41
Πίνακας 4.2: Στοιχεία περιεκτικότητας θείου για το μετάλλευμα που εισέρχεται στο εργοστάσιο και για το σιδηρονικέλιο που εξέρχεται από τις ηλεκτρικές καμίνους για το 2018-2019 (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ).....	43
Πίνακας 4.3: Στοιχεία περιεκτικότητας θείου για το σιδηρονικέλιο που εξέρχεται από τους μεταλλάκτες και ο λόγος μείωσης για το έτος 2018-2019 (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ).....	43
Πίνακας 4.4: Ετήσιος μέσος όρος περιεχόμενου θείου στο σιδηρονικέλιο που εισέρχεται στους μεταλλάκτες (FeNi H/K) και στο τελικό προϊόν (FeNi X/B) από το 1999 μέχρι σήμερα (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ).....	48
Πίνακας 5.1: Ποσότητες μεταλλεύματος και αγόνων υλικών στο υπό μελέτη κοίτασμα.....	61
Πίνακας 5.2: Ποσότητες μεταλλεύματος και αγόνων υλικών στο υπό μελέτη κοίτασμα μετά το όριο γεωτρήσεων.....	63
Πίνακας 5.3: Ποσότητες μεταλλεύματος και αγόνων υλικών στο υπό μελέτη κοίτασμα μετά το όριο γεωτρήσεων και τον περιορισμό για το θείο.....	65
Πίνακας 5.4: Όγκος Κοιτάσματος με περιεκτικότητα σε S > 0.21%.....	67

Πίνακας 5.5: Κατανομή περιεκτικοτήτων για το τμήμα του κοιτάσματος με περιεκτικότητα σε $S > 0.21\%$	67
Πίνακας 5.6: Μέση περιεκτικότητα σε θείο για το τμήμα του κοιτάσματος με περιεκτικότητα σε $S > 0.21\%$	67
Πίνακας 5.7: Κατανομή περιεκτικοτήτων θείου για το τμήμα του κοιτάσματος με περιεκτικότητα σε $S > 0.21\%$	68
Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών εκμετάλλευσης, εξόδων, εσόδων και κερδών για την πρώτη περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται άγονα).....	90
Πίνακας 6.2: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών εκμετάλλευσης, εξόδων, εσόδων και κερδών για την δεύτερη περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα – Επιπλέον επεξεργασία στο εργοστάσιο).....	91
Πίνακας 7.1: Απώλειες εσόδων σε περίπτωση που δεν ληφθεί ως χρήσιμο συστατικό το κομμάτι του κοιτάσματος με αυξημένη περιεκτικότητα σε θείο.....	93
Πίνακας 7.2: Απώλειες κερδών σε περίπτωση που δεν ληφθεί ως χρήσιμο συστατικό το κομμάτι του κοιτάσματος με αυξημένη περιεκτικότητα σε θείο.....	93
Πίνακας 7.3: Επιπλέον κέρδη σε περίπτωση που σε όλο το κοίτασμα η περιεκτικότητα σε θείο ήταν κάτω από $0,21\%$	94

Διαγράμματα

Διάγραμμα 1.1: Αρχικές χρήσεις νικελίου (nickel institute).....	16
Διάγραμμα 1.2: Τελικές χρήσεις νικελίου (nickel institute).....	17
Διάγραμμα 1.3: Παραγωγή νικελίου στις βασικότερες χώρες το διάστημα 2010-2018 (Statista).....	20
Διάγραμμα 1.4: Τιμές νικελίου στο LME (London Metal Exchange Market) από το 2010 μέχρι σήμερα (www.lme.com).....	23

Διάγραμμα 2.1: Ετήσια Παραγωγή Νικελίου της ΛΑΡΚΟ τα έτη 2014-2018 (δεδομένα Εργοστασίου ΛΑΡΚΟ).....	25
Διάγραμμα 4.1: Ετήσιος μέσος όρος περιεχόμενου θείου μεταλλευμάτων από το 1995 μέχρι σήμερα (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ).....	42
Διάγραμμα 4.2: Περιεκτικότητες μεταλλευμάτων σε θείο για το 2018-2019 (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ).....	45
Διάγραμμα 4.3: Ετήσιος μέσος όρος περιεχόμενου θείου στο σιδηρονικέλιο που μπαίνει στους μεταλλάκτες (FeNi H/K) και στο τελικό προϊόν (FeNi X/B) από το 1999 μέχρι σήμερα (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ).....	49
Διάγραμμα 4.4: Λόγος μείωσης του θείου ανά έτος από το 1999 μέχρι και σήμερα (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ).....	49
Διάγραμμα 4.5: Συγκεντρωτικές περιεκτικότητες σε θείο (φυσικός λατερίτης, σιδηρονικέλιο στον μεταλλάκτη, τελικό προϊόν, όριο εργοστασίου) για το 2018-2019 (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ).....	51
Διάγραμμα 7.1: Συσχέτιση ποσοστού αύξησης κέρδους και τιμής πώλησης του νικελίου αν όλο το κοίτασμα είχε περιεκτικότητα σε θείο κάτω από 0,21%.....	94

Κεφάλαιο 1. Νικέλιο

1.1 Ιδιότητες Νικελίου

Το νικέλιο (**nickel**) είναι ένα από τα πιο γνωστά στοιχεία καθώς αποτελεί το 5^ο πιο κοινό στοιχείο πάνω στη Γη. Συναντάται κυρίως στη δομή θειούχων, οξειδίων και αλάτων ανόργανων ουσιών. Έχει σημαντικές φυσικές ιδιότητες όπως είναι η μαγνητική συμπεριφορά του, η ελαστικότητά του και η καλή θερμική κι ηλεκτρική αγωγιμότητά του. Η πιο σημαντική όμως φυσική ιδιότητά του, εκείνη που καθορίζει και τις περισσότερες εφαρμογές του, είναι η ικανότητα να διατηρεί την αντοχή, τη σκληρότητα και την αντίσταση στην οξείδωση και τη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες. Επιπλέον διαθέτει καταλυτικές ιδιότητες και χρησιμοποιείται στη Χημεία. Όλα αυτά καθιστούν το νικέλιο εξαιρετικά σημαντικό εμπορικό προϊόν, διαδραματίζοντας σπουδαίο ρόλο στην παγκόσμια βιομηχανική ανάπτυξη, παραμερίζοντας σχεδόν όλα τα υπόλοιπα βιομηχανικά μέταλλα.

1.2 Χρήσεις Νικελίου

Τα υλικά που περιέχουν νικέλιο παίζουν σημαντικό ρόλο στη ζωή μας. Καθημερινά ερχόμαστε σε επαφή με τέτοια αντικείμενα όπως τα αυτοκίνητα, διάφορα εργαλεία και ηλεκτρονικές συσκευές. Παλαιότερα, η εφαρμογή του νικελίου περιοριζόταν κυρίως στην παραγωγή νομισμάτων. Σήμερα, το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγωγής νικελίου καταλήγει κάθε χρόνο σε κράματα, εκ των οποίων πάνω από τα δύο τρίτα υπεισέρχονται σε ανοξείδωτο χάλυβα ώστε να προσδώσουν μεγαλύτερη σκληρότητα κι ανθεκτικότητα. Συνεπώς, έχει ευρεία χρήση στην κατασκευή κτιρίων λόγω του οπλισμού που περιέχουν, στις μεταφορές, στον εξοπλισμό παραγωγής τροφίμων, στον ιατρικό εξοπλισμό, στην κατασκευή στρατιωτικών όπλων και αρμάτων, στην αεροδιαστημική καθώς και σε πολλές ακόμα κατηγορίες.

Οι χρήσεις του νικελίου χωρίζονται σε αρχικές και τελικές. Ως «πρώτη χρήση» ορίζεται η μετατροπή των προϊόντων του νικελίου σε ενδιάμεσα προϊόντα, τα οποία αποτελούν τη βάση για αυτά της «τελικής χρήσης». Το νικέλιο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, χρησιμοποιείται κυρίως στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα μέσω του κράματος σιδηρονικελίου σε ποσοστό περίπου 70%. Χρησιμοποιείται επίσης για

την παραγωγή μη σιδηρούχων κραμάτων και άλλου είδους κραμάτων χάλυβα σε ποσοστά 9%. Τέλος, χρησιμοποιείται στην επιμετάλλωση σε ποσοστό 8%, στις μπαταρίες περίπου 3% και σε άλλες χρήσεις 1%. (Nickel Institute)



Διάγραμμα 1.1: Αρχικές χρήσεις νικελίου (nickel institute)

Όσον αφορά τις τελικές χρήσεις, το νικέλιο χρησιμοποιείται σε μια πληθώρα εφαρμογών και τομείς όπως η εφαρμοσμένη μηχανική, οι ασφαλείς μεταφορές, οι ηλεκτρικές κι ηλεκτρονικές συσκευές, τα κτίρια και οι κατασκευές, τα μεταλλικά αντικείμενα. Επίσης συμβάλλει σε αποδοτικές τηλεπικοινωνίες, αποδοτική παραγωγή πετρελαίου, καθαρή κι αξιόπιστη παραγωγή ενέργειας, υγιεινή κατεργασία τροφίμων και αξιόπιστο ιατρικό εξοπλισμό. Συμπερασματικά, οι τελικές χρήσεις του νικελίου έχουν να κάνουν με την εφαρμογή στη μηχανική σε ποσοστό 37%, στην κατασκευή μεταλλικών προϊόντων γενικότερα σε ποσοστό 20%, στις κατασκευές κτιρίων σε ποσοστό 15%, στις μεταφορές σε ποσοστό 14%, στα ηλεκτρονικά είδη σε ποσοστό 11% και σε άλλες χρήσεις σε ποσοστό 4%. (Nickel Institute).



Διάγραμμα 1.2: Τελικές χρήσεις νικελίου (nickel institute)

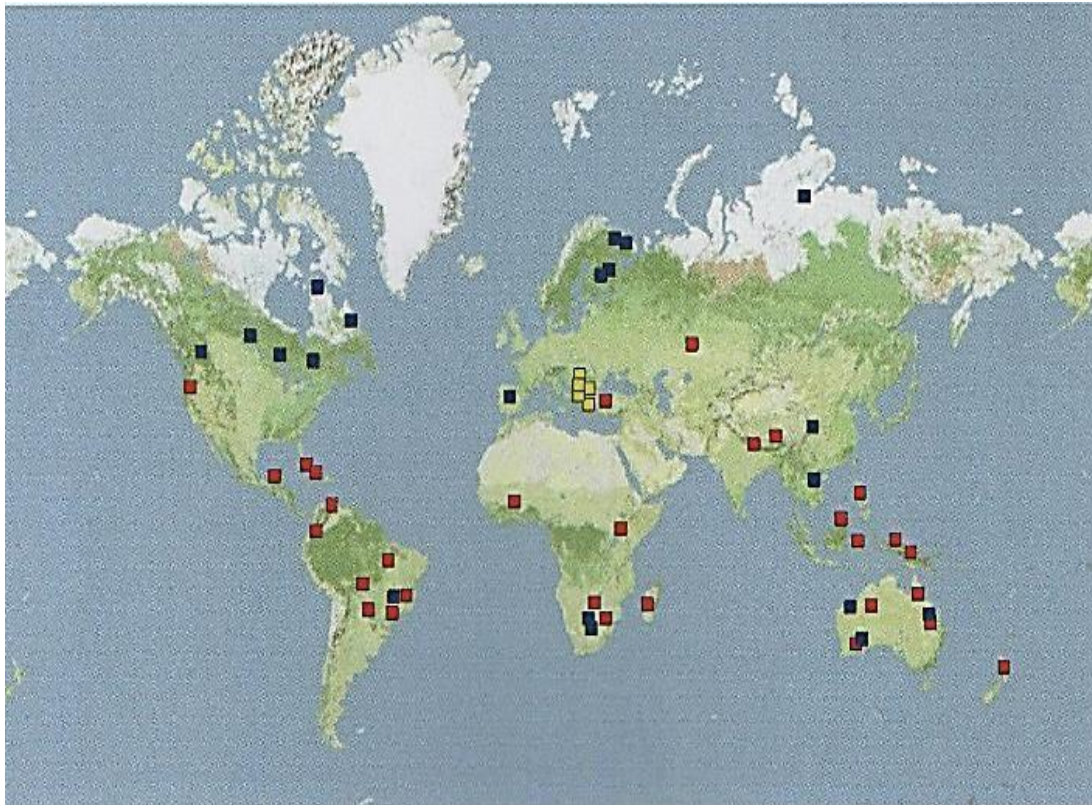
1.3 Κοιτάσματα Νικελίου

Τα κοιτάσματα μεταλλευμάτων γενικότερα, σε σύγκριση με την κανονική δομή του γήινου φλοιού και τη χημική του σύσταση, απεικονίζουν μια σημαντική συγκέντρωση των αντίστοιχων μετάλλων. Η συγκέντρωση αυτή οφείλεται στην επίδραση διαφόρων γεωλογικών και γεωχημικών συμβάντων, όπως ενδογενείς διαδικασίες (μαγματισμός, μεταμόρφωση, τεκτονισμός) ή εξωγενείς (κύκλος αποσάθρωσης, μεταφοράς, απόθεσης υλικών).

Τα μεταλλεύματα νικελίου με βάση τον τρόπο γένεσης ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

1. Θειούχα
2. Λατεριτικά
3. Ιζηματογενή

Τα ιζηματογενή κοιτάσματα νικελίου διαφέρουν γενετικά από τα κοιτάσματα των άλλων δύο τύπων. Δημιουργήθηκαν από προϊόντα αποσάθρωσης και μεταφοράς του λατεριτικού υλικού. Δεν υπάρχει όμως καμία ποιοτική διαφορά στη χημική σύσταση μεταξύ ιζηματογενών και λατεριτικών κοιτασμάτων νικελίου.



■ ΘΕΙΟΥΧΑ ■ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΑ ■ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΑ

Εικόνα 1.1: Εξάπλωση νικελιούχων κοιτασμάτων παγκοσμίως (Αποστολίκας, 2010)

1.3.1 Νικελιούχα Κοιτάσματα Παγκοσμίως

Το νικέλιο χαρακτηρίζεται ως ένα από τα πιο γνωστά μέταλλα, το οποίο εμφανίζεται σε αρκετές χώρες του κόσμου. Μεταλλεύματα που περιέχουν νικέλιο εξορύσσονται σήμερα σε περισσότερες από 25 χώρες παγκοσμίως. Ακόμη, υπάρχουν πολλά διαφορετικά μεταλλεύματα, τα οποία απαιτούν μια μεγάλη ποικιλία σε τεχνικές για την εξόρυξή τους αλλά και τη εξαγωγή του νικελίου. Μερικές από τις πιο γνωστές χώρες που παράγουν νικέλιο είναι η Αυστραλία, η Ινδονησία, οι Φιλιππίνες, η Βραζιλία, η Ρωσία, ο Καναδάς και η Κίνα.

Πιο αναλυτικά, η **Ινδονησία** κατέχει τα υψηλότερα αποθέματα νικελίου στον κόσμο περίπου 21 εκατομμύρια τόνους, καθώς είναι και η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα, με την ετήσια παραγωγή να εκτιμάται στους 560 χιλιάδες τόνους (το 2018). Στη δεύτερη θέση με τα υψηλότερα αποθέματα βρίσκεται η **Αυστραλία** με 19 εκατομμύρια τόνους, αλλά αποτελεί την 5^η κατά σειρά μεγαλύτερη παραγωγό με 170 χιλιάδες τόνους (το 2018). Έπειτα, ακολουθεί η **Βραζιλία** με αποθέματα 11 εκατομμύρια τόνους αλλά

ετήσια παραγωγή μόλις 80 χιλιάδες τόνους (το 2018). Στη συνέχεια βρίσκεται η **Ρωσία** με αποθέματα 7,6 εκατομμύρια τόνους και ετήσια παραγωγή 210 χιλιάδες τόνους (το 2018). Την πρώτη πεντάδα συμπληρώνει η **Κούβα** με αποθέματα 5,5 εκατομμύρια τόνους και ετήσια παραγωγή 53 χιλιάδες τόνους (το 2018). (USGS)



Εικόνα 1.2: Χάρτης χωρών με τη μεγαλύτερη εξορυκτική δραστηριότητα νικελίου (Commodity.com)

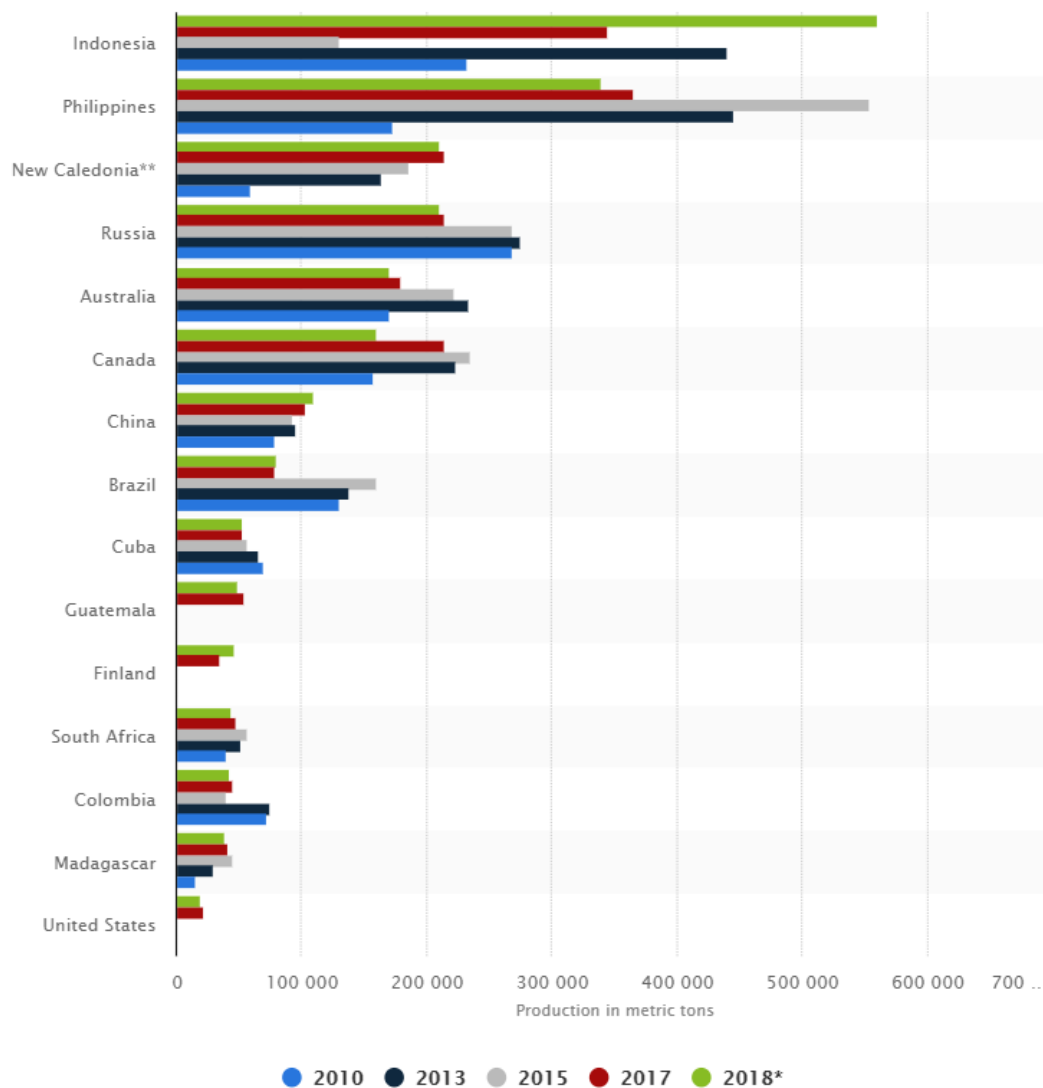
Αξίζει να αναφερθεί, ότι άλλη μία σημαντική χώρα με την ετήσια παραγωγή της να εκτιμάται στους 210 χιλιάδες τόνους (το 2018) είναι η **Νέα Καληδονία**, χωρίς όμως να γνωρίζουμε τα ακριβή αποθέματά της. Λέγεται επίσης ότι διαθέτει την υψηλότερη περιεκτικότητα σε νικέλιο ανάμεσα στα λατεριτικά κοιτάσματα που υπάρχουν παγκοσμίως. (USGS)

Πίνακας 1.1: Οι 10 μεγαλύτερες χώρες σε αποθέματα και παραγωγή νικελίου (USGS)

Χώρα	Αποθέματα (σε MT)	Παραγωγή (σε MT)	
		2017	2018
1. Ινδονήσια	21.000.000	345.000	560.000
2. Αυστραλία	19.000.000	179.000	170.000
3. Βραζιλία	11.000.000	78.600	80.000
4. Ρωσία	7.600.000	214.000	210.000
5. Κούβα	5.500.000	52.800	53.000

6. Φιλιππίνες	4.800.000	366.000	340.000
7. Νότια Αφρική	3.700.000	48.400	44.000
8. Κίνα	2.800.000	103.000	110.000
9. Καναδάς	2.700.000	214.000	160.000
10. Νέα Καληδονία	-	215.000	210.000
Άλλες Χώρες	6.500.000	146.000	180.000

Τα αναγνωρισμένα κοιτάσματα που βρίσκονται σε χερσαίο έδαφος σε ολόκληρο τον κόσμο, με μέση περιεκτικότητα 1% και πάνω, περιέχουν τουλάχιστον 130 εκατομμύρια τόνους νικέλιο. Περίπου το 60% από αυτά αφορά σε λατεριτικά κοιτάσματα ενώ το υπόλοιπο 40% σε θειούχα κοιτάσματα.



Διάγραμμα 1.3: Παραγωγή νικελίου στις βασικότερες χώρες το διάστημα 2010-2018 (Statista)

Από το παραπάνω διάγραμμα διακρίνουμε ότι υπάρχει μια ισορροπία όσον αφορά τη παγκόσμια παραγωγή νικελίου, καθώς σε άλλες χώρες υπάρχει αύξηση με τα χρόνια και σε άλλες μείωση. Αύξηση στην παραγωγή τα τελευταία χρόνια υπάρχει σε μερικές χώρες με πρώτη την **Ινδονησία**, η οποία παρήγαγε 540 χιλιάδες τόνους το 2018 από 130 χιλιάδες τόνους που παρήγαγε το 2015. Αντίθετα, υπάρχουν και κάποιες χώρες οι οποίες τα τελευταία χρόνια έχουν μειώσει την παραγωγή τους όπως οι **Φιλιππίνες**, οι οποίες από 554 χιλιάδες τόνους το 2015 παρήγαγαν 340 χιλιάδες τόνους το 2018. Αυτό συνέβη λόγω των δυσμενών καιρικών συνθηκών, των χαμηλών τιμών στη διεθνή αγορά και της αναστολής κάποιων εξορυκτικών εργασιών, εξαιτίας της μη τήρησης των περιβαλλοντικών όρων.

1.3.2 Νικέλιο στον Ελλαδικό χώρο

Στην Ελλάδα η βασική γεωλογική έρευνα και οι μελέτες διεξάγονται κυρίως από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ), το οποίο παρέχει γενικές πληροφορίες σχετικά με τη γεωλογική δομή της χώρας, το μέγεθος, την τοποθεσία και την ποιότητα των διαφόρων μεταλλείων της Ελλάδας και κατά δεύτερο λόγο από άλλους φορείς.

Στον ελλαδικό χώρο δεν απαντώνται θειούχα κοιτάσματα αλλά λατεριτικά τα οποία χαρακτηρίζονται ως σιδηρονικελιούχα. Τα κοιτάσματα αυτά θεωρούνται «φτωχά» σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα με μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο γύρω στο 1%. Στη χώρα μας, υπάρχουν περισσότερες από 110 εμφανίσεις νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος με περιεκτικότητα σε νικέλιο που κυμαίνεται από 0,4% έως 1,5% και σε σίδηρο από 20% έως 79%. Όσον αφορά τη χημική σύσταση, το σιδηρονικέλιο αποτελείται κυρίως από νικέλιο, σίδηρο, πυρίτιο, αργίλιο, χρώμιο και μαγνήσιο. Σε μικροποσότητες απαντώνται μαγγάνιο, ασβέστιο, θείο, κοβάλτιο, αρσενικό κ.ά.

Τα συνολικά αποθέματα εκτιμάται ότι υπερβαίνουν τους 500 εκατομμύρια τόνους, εκ των οποίων οι 240 εκατομμύρια τόνοι είναι εκμεταλλεύσιμοι. Τα υπό εκμετάλλευση κοιτάσματα βρίσκονται στην κεντρική και βόρεια **Εύβοια**, στην **Βοιωτία** και στην περιοχή της **Καστοριάς**. Μικρότερα κοιτάσματα κι εμφανίσεις εντοπίζονται στην Έδεσσα, στην Αττική, στα Γρεβενά, στο Βέρμιο, στην Κοζάνη, στη

Σκύρο και στη Μυτιλήνη. Η ηλικία σχηματισμού όλων των κοιτασμάτων, συνδέεται άμεσα με τη γεωδυναμική εξέλιξη του τόξου του Αιγαίου.



Εικόνα 1.3: Χάρτης με τις περιοχές μεταλλευτικής δραστηριότητας για εξόρυξη σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων στην Ελλάδα

1.4 Τιμή Νικελίου

Γενικότερα, η τιμή του νικελίου στις αρχές του 21^{ου} αιώνα κυμαινόταν κάτω από 10.000 \$ ο τόνος, περίπου στα 8.600 \$ ο τόνος. Στη συνέχεια υπήρξε μια άνοδος της τιμής στα 15.000 \$ ο τόνος, έχοντας βέβαια και κάποιες διακυμάνσεις. Ωστόσο τη διετία 2006 - 2007, υπήρξε έκρηξη της τιμής του νικελίου παγκοσμίως, η οποία έφτασε και πέρασε τα 50.000 \$ ο τόνος, αλλά γρήγορα σταμάτησε κι ακολούθησε μείωση μέχρι να φτάσει και πάλι στα προηγούμενα επίπεδα. Την τελευταία δεκαετία παρατηρείται μια σταδιακή μείωση στην τιμή του νικελίου. Η τιμή βρίσκεται σήμερα περίπου στα 12.300,00 \$ ανά τόνο (Ιούλιος 2019), από 11.760,00 \$ τον περασμένο μήνα (Ιούνιος 2019) και από 15.700,00 \$ πριν από ένα χρόνο (Ιούλιος 2018). Πρόκειται δηλαδή για μια αύξηση της τάξεως του 4,59% από τον περασμένο μήνα και μια μείωση της τάξεως του 27,64% από τον περασμένο χρόνο.

LME NICKEL HISTORICAL PRICE GRAPH

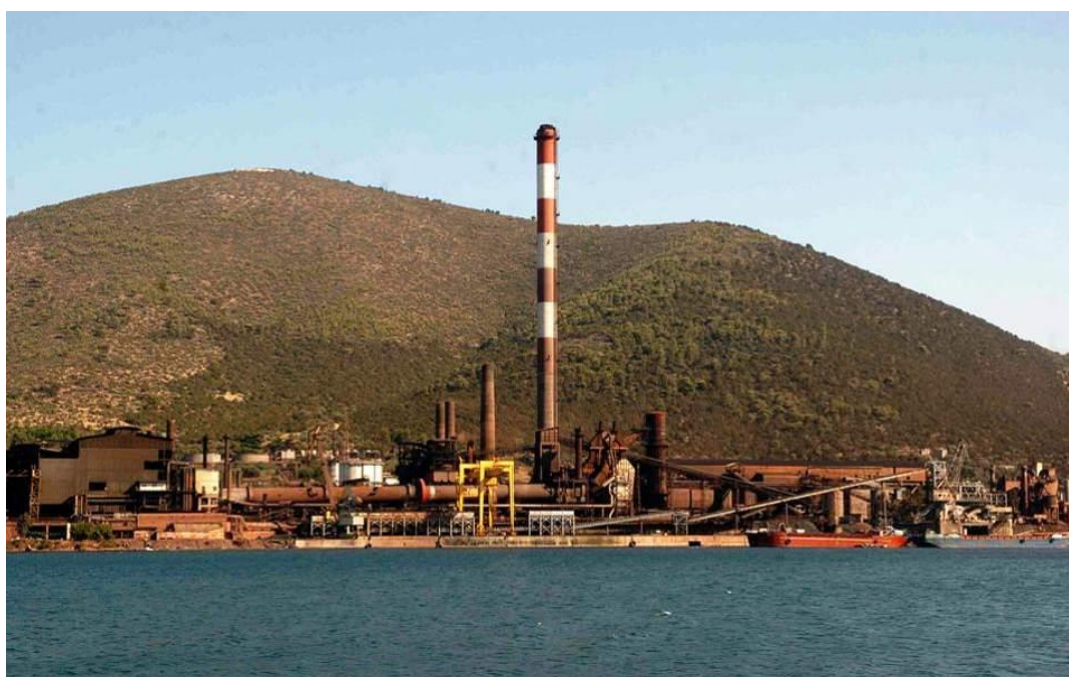


Διάγραμμα 1.4: Τιμές νικελίου στο LME (London Metal Exchange Market) από το 2010 μέχρι σήμερα (www.lme.com)

Κεφάλαιο 2. Εταιρεία Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ

2.1 Γενικές Πληροφορίες

Ο ορυκτός πλούτος στηρίζει μεγάλο μέρος της βαριάς βιομηχανίας της Ελλάδας και ως τομέας ανάπτυξης έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αναπτυξιακή της πορεία. Η εταιρεία **Γ.Μ.Μ.Α.Ε. ΛΑΡΚΟ** η οποία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες παραγωγικές μονάδες της χώρας μας με δραστηριότητες κυρίως στην περιφέρεια, είναι εκείνη η οποία εκμεταλλεύεται τους ελληνικούς λατερίτες. Είναι γεγονός πως η ΛΑΡΚΟ έχει επί 53 χρόνια μια σημαντική δραστηριότητα με ιδιαίτερη οικονομική βαρύτητα για την Ελληνική Οικονομία, καθώς πρόκειται για μία από τις κυριότερες μεταλλουργικές βιομηχανίες παραγωγής σιδηρονικελίου στην Ευρώπη. Πιο αναλυτικά, αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό σιδηρονικελίου στην Ευρώπη και έναν από τους είκοσι μεγαλύτερους σε παγκόσμια κατάταξη. Εκτός από τις εκμεταλλεύσεις των κοιτασμάτων που βρίσκονται σε Εύβοια, Βοιωτία και Καστοριά, η εταιρεία διαθέτει μεταλλουργικές εγκαταστάσεις παραγωγής σιδηρονικελίου που βρίσκονται στην περιοχή της Λάρυμνας στη Φθιώτιδα, από το 1966. Η μονάδα αυτή είναι μία εκ των 57 εγκαταστάσεων μεταλλουργίας νικελίου παγκοσμίως και μία εκ των 22 που επεξεργάζονται λατερίτες. (www.larco.gr)



Εικόνα 2.1: Το εργοστάσιο μεταλλουργίας της ΛΑΡΚΟ στη Λάρυμνα

Η ΛΑΡΚΟ διεξάγει εκτεταμένη και λεπτομερή έρευνα που περιλαμβάνει γεωλογική αναγνώριση, χαρτογράφηση και ερευνητικές γεωτρήσεις δειγματοληψίας χρησιμοποιώντας την σύγχρονη τεχνολογία. Η μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωλογικής έρευνας γίνεται με σύγχρονα και πιστοποιημένα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών και έτσι υπολογίζεται ο όγκος και η ποιότητα των αποθεματικών και αποθεμάτων των νικελιούχων μεταλλευμάτων.

2.2 Παραγωγή

Η ετήσια παραγωγή μεταλλεύματος στα μεταλλεία της ΛΑΡΚΟ έφτασε τους 2,5 εκατομμύρια τόνους (για το 2018), ενώ η συνολική παραγωγή της εταιρείας από την αρχή της λειτουργίας της ανέρχεται σε 94 εκατομμύρια τόνους. Γενικότερα, η ετήσια παραγωγή των μεταλλείων της εταιρείας κατά την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται από 2 έως 2,5 εκατομμύρια τόνους τριμμένου κι ομογενοποιημένου μεταλλεύματος. Αντίστοιχα, η παραγωγή νικελίου στο εργοστάσιο της Λάρυμνας κυμαίνεται στα επίπεδα των 15.500 – 16.000 τόνων ετησίως (για το 2018) κι εξαρτάται από τη ζήτηση και την τιμή πώλησης του προϊόντος. Συνολικά από την έναρξη λειτουργίας του έχουν παραχθεί 740.000 τόνοι νικελίου αξίας περίπου 12 δισεκατομμυρίων €. (World Mining Data 2018)



Διάγραμμα 2.1: Ετήσια Παραγωγή Νικελίου της ΛΑΡΚΟ τα έτη 2014-2018 (δεδομένα Εργοστασίου ΛΑΡΚΟ)

2.3 Ιδιοκτησίες

Εκτός από τα μεταλλεία και το εργοστάσιο μεταλλουργίας η ΛΑΡΚΟ διαθέτει ένα λιγνιτωρυχείο στα Σέρβια Κοζάνης για την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών, ενώ τα κεντρικά της γραφεία όπου γίνεται ο συντονισμός των ενεργειών όλης της επιχείρησης βρίσκονται στο Μαρούσι Αττικής.

2.3.1 Μεταλλεία Εύβοιας

Στην περιοχή της Εύβοιας υπάρχουν πέντε μεταλλεία επιφανειακής εκμετάλλευσης. Τα μεταλλεία διαθέτουν σύγχρονο χωματουργικό εξοπλισμό επιφανειακών εκμεταλλεύσεων, δύο εγκαταστάσεις θραύσης και κοσκίνισης των μεταλλευμάτων, μονάδα εμπλουτισμού κι εγκαταστάσεις ομογενοποίησης και φόρτωσης πλοίων. Για την μεταφορά από το τριβείο στις εγκαταστάσεις εμπλουτισμού κι ομογενοποίησης, υπάρχει ενιαίο σύστημα μεταφορικής ταινίας, μήκους 7,5 χιλιομέτρων, το οποίο αξιοποιεί την υψομετρική διαφορά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ετήσια παραγωγή ανέρχεται σε 1,2 – 1,5 εκατομμύρια τόνους μεταλλεύματος και η μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο είναι 1% – 1,03%. (www.larco.gr)



Εικόνα 2.2: Μεταλλείο σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος της ΛΑΡΚΟ στην Εύβοια (www.oryktosploutos.net)

2.3.2 Μεταλλεία Αγίου Ιωάννη

Τα μεταλλεία Αγίου Ιωάννη βρίσκονται στο Νέο Κόκκινο του Νομού Βοιωτίας, 7 χιλιόμετρα από το εργοστάσιο μεταλλουργίας της Λάρυμνας. Είναι τα παλαιότερα μεταλλεία και λειτουργούν με μία υπόγεια και της επιφανειακές εκμεταλλεύσεις. Μια τέταρτη επιφανειακή εκμετάλλευση δημιουργήθηκε ως επέκταση σε υπάρχουσες επιφανειακές εκμεταλλεύσεις. Το πρώτο υπόγειο μεταλλείο στην περιοχή άρχισε να λειτουργεί στις αρχές του προηγούμενου αιώνα. Κι αυτά τα μεταλλεία είναι εξοπλισμένα με σύγχρονο επιφανειακό και υπόγειο εξοπλισμό και πρόσθετες μονάδες διατηρητικών μηχανημάτων. Επιπλέον υπάρχουν δύο εγκαταστάσεις θραύσης – κοσκίνισης καθώς και μονάδα εμπλουτισμού και μονάδα ομογενοποίησης του μεταλλεύματος. Η ετήσια παραγωγή μετά το μαγνητικό διαχωρισμό ανέρχεται σε 700 χιλιάδες τόνους μεταλλεύματος περιεκτικότητας σε νικέλιο 1,05% - 1,1%. (www.larco.gr)

2.3.3 Μεταλλεία Καστοριάς

Τα μεταλλεία Καστοριάς βρίσκονται κοντά στα Αλβανικά σύνορα και ιδρύθηκαν τη δεκαετία του 1990. Πρόκειται για επιφανειακά μεταλλεία και λειτουργούν με εργολαβικά συνεργεία αποκάλυψης κι εξόρυξης. Υπάρχουν τρεις περιοχές με αποθέματα, εκ των οποίων δύο μόνο εκμεταλλεύονται σε μόνιμη βάση. Εξαιτίας του υψομέτρου, το μεταλλείο Κούκος μπορεί να εκμεταλλευτεί μόνο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Τα μεταλλεία Καστοριάς διαθέτουν εγκαταστάσεις θραύσης – κοσκίνισης κι εμπλουτισμού του μεταλλεύματος. Η ετήσια παραγωγή τους ανέρχεται περίπου σε 300 χιλιάδες τόνους μεταλλεύματος υψηλής περιεκτικότητας σε νικέλιο. (www.larco.gr)

2.3.4 Λιγνιτωρυχείο Σερβίων

Το λιγνιτωρυχείο της εταιρείας βρίσκεται στα Σέρβια του Νομού Κοζάνης. Η κάλυψη των αναγκών του εργοστασίου μεταλλουργίας στη Λάρυμνα οδήγησε τη ΛΑΡΚΟ στην ανάπτυξη έντονων μεταλλευτικών δραστηριοτήτων στην περιοχή της Δυτικής Μακεδονίας, με σκοπό την αναζήτηση κατάλληλων στερεών καυσίμων. Η

εκμετάλλευση του ορυχείου είναι επιφανειακή. Ο εξορυσσόμενος λιγνίτης θραύεται και κοσκινίζεται στο κατάλληλο μέγεθος. Η ετήσια παραγωγή κυμαίνεται περίπου στους 300 χιλιάδες τόνους λιγνίτη. Τα τελευταία χρόνια το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής λιγνίτη διατίθεται στη ΔΕΗ για ηλεκτροπαραγωγή στους ΑΗΣ της Δυτικής Μακεδονίας, ενώ μικρό μέρος της παραγωγής χρησιμοποιείται στην μεταλλουργική μονάδα της Λάρυμνας.



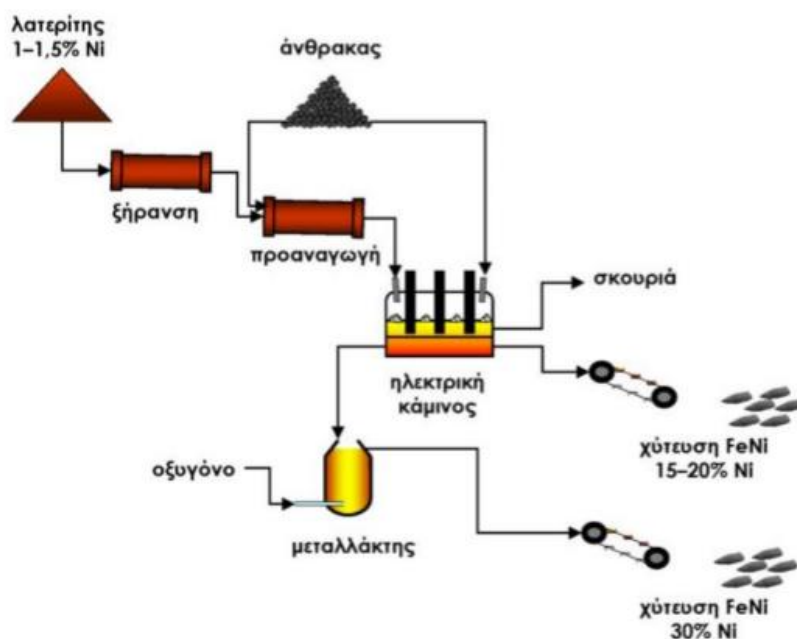
Εικόνα 2.3: Το λιγνιτωρυχείο της ΛΑΡΚΟ στα Σέρβια

2.3.5 Μεταλλουργικό Εργοστάσιο Λάρυμνας

Οι Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις βρίσκονται στη Λάρυμνα στο Νομό Φθιώτιδας. Στο εργοστάσιο, το οποίο λειτουργεί 24 ώρες τη μέρα 365 μέρες το χρόνο, γίνεται πυρομεταλλουργική επεξεργασία των λατεριτικών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων με στόχο την παραγωγή κοκκοποιημένου σιδηρονικελίου (FeNi), υψηλής καθαρότητας και χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, περιεκτικότητας 18%-24% σε νικέλιο, που αποτελεί την πρώτη ύλη για τις βιομηχανίες παραγωγής ανοξείδωτων χαλύβων στην Ευρώπη. Η συνολική ετήσια ποσότητα μεταλλεύματος που επεξεργάζεται το εργοστάσιο ανέρχεται στους 2,2 εκατομμύρια τόνους περίπου. Η ετήσια παραγωγή σε νικέλιο ανέρχεται σε 16.000 – 17.000 τόνους και καλύπτει το 6% περίπου της ζήτησης της Ευρωπαϊκής αγοράς σε νικέλιο και το 1,1% της παγκόσμιας αγοράς. (www.larco.gr)

Η βασική γραμμή παραγωγής αποτελείται από 4 περιστροφικές καμίνους, εκ των οποίων τρεις από αυτές έχουν μήκος 90 περίπου μέτρα και διάμετρο 4,2 m οι δύο

και 5,2 m η τρίτη. Η τέταρτη έχει μήκος 126 μέτρα και διάμετρο 6,1 m και είναι μια από τις μεγαλύτερες στην Ευρώπη. Στις περιστροφικές καμίνους επιτυγχάνεται η αποβολή της υγρασίας και η προθέρμανση του μεταλλεύματος. Στη συνέχεια, αποτελείται από 5 ηλεκτρικές καμίνους ύψους 6 μέτρων. Οι τέσσερις από αυτές έχουν διάμετρο 12 μέτρα και η πέμπτη 18 μέτρα, ενώ η ισχύς τους κυμαίνεται από 28MW – 44MW. Εκεί επιτυγχάνεται η τήξη του φρύγματος και η αναγωγή του νικελίου. Έπειτα ακολουθούν 2 μεταλλάκτες τύπου OBM, δυναμικότητας 50 τόνων μετάλλου έκαστος. Πέραν των ανωτέρω υπάρχουν και οι αναγκαίες βοηθητικές εγκαταστάσεις, όπως οι 2 μονάδες για την παραγωγή οξυγόνου και αζώτου, μονάδα πελλετοποίησης κόνεων, μονάδα κοκκοποίησης σιδηρονικελίου και μονάδες μαγνητικού εμπλουτισμού. (www.larco.gr)



Εικόνα 2.4: Σχεδιάγραμμα παραγωγής σιδηρονικελίου

Το μέταλλευμα που προέρχεται από τα Μεταλλεία Καστοριάς, Αγίου Ιωάννη και Ευβοίας ανάλογα με την προέλευσή του έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά:

- Το μέταλλευμα της Εύβοιας έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο και οξείδιο του πυριτίου
- Το μέταλλευμα του Αγίου Ιωάννη έχει υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο αλλά μικρή σε οξείδιο του πυριτίου.

- Το μέταλλευμα της Καστοριάς έχει υψηλή περιεκτικότητα σε οξείδιο του πυριτίου αλλά μικρή σε οξείδιο του σιδήρου.

Η τυπική σύσταση του μεταλλουργικού μίγματος είναι η παρακάτω:

- I. 55% μέταλλευμα Εύβοιας
- II. 30% μέταλλευμα Αγίου Ιωάννη
- III. 15% μέταλλευμα Καστοριάς
- IV. Στερεά Καύσιμα, γαιάνθρακας - λιγνίτες, περίπου 200 - 230 kg/tn φυσικού μεταλλεύματος

Η παραπάνω αναλογία των μεταλλευμάτων υπαγορεύεται κυρίως από τον όγκο των εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων, την περιεκτικότητα των κοιτασμάτων σε νικέλιο, την δυνατότητα και δυναμικότητα των εκμεταλλεύσεων και την εν γένει χημική και ορυκτολογική σύνθεση. (www.larco.gr)



Εικόνα 2.5: Μέταλλευμα Σιδηρονικελίου που ξεφορτώθηκε από πλοίο

Κεφάλαιο 3. Γεωλογία, Κοιτασματολογία και Ορυκτολογία

3.1.1 Γεωλογία Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας

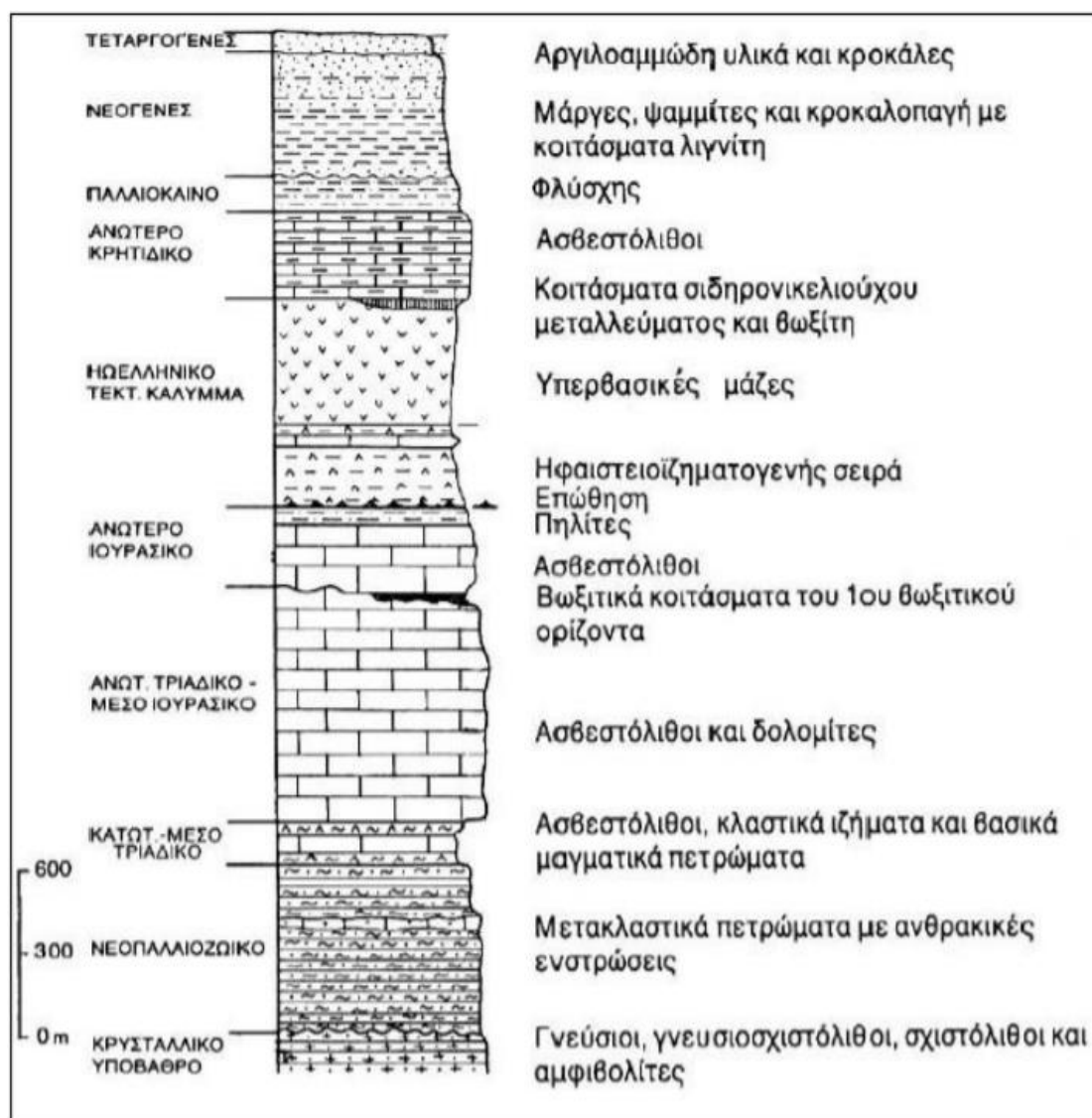
Η περιοχή της κεντρικής Εύβοιας χαρακτηρίζεται από πληθώρα παλαιοτεκτονικών ενοτήτων, οι οποίες έχουν ομογενοποιηθεί χάρη στην Ανωκρητιδική επίκλυση. Ειδικότερα, η κεντρική Εύβοια ανήκει στην «Υποπελαγονική» ζώνη, η οποία βρίσκεται στη δυτική πλευρά της Πελαγονικής ζώνης και εμφανίζεται σε αρκετές περιοχές όπως η κεντρική και βόρεια Εύβοια, η Ανατολική Στερεά Ελλάδα κ.ά. (Παπανικολάου, 1986). Η ύπαρξη της «Υποπελαγονικής» ενότητας περιορίζεται στο Τριαδικό – Ιουρασικό (μέχρι το κάτω Κρητιδικό).

3.1.2 Στρωματογραφία

Στην στρωματογραφία της περιοχής της Βόρειας και Κεντρικής Εύβοιας από πάνω μέχρι κάτω συναντώνται οι εξής σχηματισμοί:

- **Τεταρτογενείς αποθέσεις**, οι οποίες διακρίνονται σε αλλουβιακές αποθέσεις, παλαιούς και νέους κώνους κορημάτων, υλικά χειμαρρωδών αναβαθμίδων και από διάφορους παράκτιους σχηματισμούς.
- **Νεογενή Ιζήματα**. Οι Νεογενείς αποθέσεις της Εύβοιας ομαδοποιούνται σε τρεις ιζηματογενείς λεκάνες. Τη λεκάνη Αλιβερίου-Κύμης, τη λεκάνη Πάλιουρα-Γίδες και τη λεκάνη Λίμνης-Ιστιαίας. Και οι τρεις λεκάνες παρουσιάζουν παρόμοια λιθολογία με μια κατώτερη ακολουθία λιμναίων ιζημάτων συχνά με λιγνιτικές ενδιαστρώσεις και μια ανώτερη ακολουθία από ποτάμια ιζήματα. Τα νεογενή αυτά ιζήματα εγκλείουν συχνά κοιτάσματα λιγνίτη.
- **Φλύσξης**. Ο Φλύσξης αποτελείται κυρίως από ψαμμίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους και πιο σπάνια από κροκαλοπαγή. Στα κατώτερα στρώματα του Φλύσξη, τοπικά απαντώνται μπλοκ νηριτικών και ημιπελαγικών ασβεστολίθων.
- Ακολουθούν οι **Ανωκρητιδικοί επικλυσιογενείς ασβεστόλιθοι** η απόθεση των οποίων άρχισε στο Κενομάνιο και συνεχίστηκε μέχρι και το Μαιστρίχτιο. Στη

βάση αυτών των ασβεστόλιθων απαντώνται συχνά μεγάλα κοιτάσματα σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος.



Εικόνα 3.1: Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας (Κατσικάτσος, 1986)

- **Τεκτονικό κάλυμμα.** Το τεκτονικό αυτό μείγμα αποτελείται από σερπεντινίτες στη κύρια μάζα κι ένα μπλοκ όπως κερατόλιθοι, αμφιβολίτες, ψαμμίτες κι ασβεστόλιθοι το οποίο είναι όμοιο και με άλλες περιοχές της Ελλάδας.
- **Άνω Τριαδικά – άνω Ιουρασικά** κυρίως **νηριτικού τύπου ανθρακικά ιζήματα** (ασβεστόλιθοι και δολομίτες) μεγάλου πάχους, που διακόπτονται κατά ορισμένες περιόδους από τις γνωστές σαν σχιστοψαμμιτοκερατολιθικές διαπλάσεις. Αυτές οι διαπλάσεις αποτελούνται από πηλίτες, μάργες, ψαμμίτες,

κερατόλιθους, ραδιολαρίτες, ασβεστόλιθους και οφιολιθικά τεμάχια στα ανώτερα μέρη τους, κατά το πλείστον σερπεντινωμένα.

- **Ασβεστόλιθοι, κλαστικά ιζήματα και βασικά μαγματικά πετρώματα** του κατώτερου – μέσου Τριαδικού.
- **Νεοπαλαιοζωικής ηλικίας σχηματισμοί** (μέσω-άνω Λιθανθρακοφόρου) με σχιστοψαμμίτες, σερικιτικούς σχιστόλιθους και κλαστικά πετρώματα με πολλές ανθρακικές ενστρώσεις του Περμίου.
- Το **κρυσταλλικό υπόβαθρο** ηλικίας προ-μέσο-Λιθανθρακοφόρου, που αποτελείται κυρίως από βιοτικούς και διμαρμαρυγικούς γενεύσιους και γνευσιοσχιστόλιθους, που κατά θέσεις μεταπίπτουν σε μειγματίτες. (Κατσικάτσος, 1992)

3.2 Υπολειμματικά κοιτάσματα

Υπολειμματικές ονομάζονται οι συγκεντρώσεις συστατικών οικονομικής σημασίας, οι οποίες προκύπτουν όταν κατά την αποσάθρωση απομακρύνονται τα ανεπιθύμητα συστατικά των πετρωμάτων. Η συγκέντρωση ή ο εμπλουτισμός οφείλονται σχεδόν στην ελάττωση του όγκου λόγω εκλεκτικής απομάκρυνσης των μη χρήσιμων συστατικών.

Σε αντίθεση με τις μεταλλοφορίες από υπεργενετικό εμπλουτισμό, όπου κατά την αποσάθρωση (εξαλλοίωση) προσβάλλονται μόνο ορισμένα ορυκτολογικά συστατικά (πχ θειούχα ορυκτά), στα υπολειμματικά κοιτάσματα επηρεάζεται το σύνολο του πετρώματος και παρατηρείται εμπλουτισμός σε συγκεκριμένα, χρήσιμα συστατικά κυρίως λόγω μείωσης του όγκου του πετρώματος. Οι σημαντικότεροι τύποι κοιτασμάτων που ανήκουν στην κατηγορία των υπολειμματικών είναι οι **νικελιούχοι λατερίτες**, οι **λατεριτικοί βωξίτες** και τα **αλλόχθονα κοιτάσματα** που προκύπτουν από τη μεταφορά του υλικού τους, δηλαδή τα **καρστικά σιδηρονικελιούχα** και οι **καρστικοί βωξίτες**. (Τριανταφυλλίδης, 2015)

3.3 Λατερίτες

3.3.1 Αποσάθρωση - Υδρόλυση

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επιδρά για το σχηματισμό υπολειμματικών συγκεντρώσεων είναι η **αποσάθρωση**. Η αποσάθρωση διακρίνεται σε **χημική (εξαλλοίωση)**, όπου παρατηρείται μεταβολή της χημικής σύστασης, είτε με προσθήκη είτε με απομάκρυνση χημικών συστατικών και σε **μηχανική (διάβρωση)**, όπου δεν μεταβάλλεται ο χημισμός, αλλά ο ιστός του πετρώματος κυρίως μέσω δράσης του αέρα και του νερού. Ορισμένοι από τους σημαντικούς παράγοντες που επιδρούν στις διαδικασίες αποσάθρωσης είναι:

- Κλιματολογικές συνθήκες (ύψος βροχής, θερμοκρασία)
- Μηχανική Κατάσταση (παρουσία ρωγμών και σπασιμάτων)
- Ανάγλυφο
- Ορυκτολογία και ιστός
- Παρουσία μικροοργανισμών και φυτοκάλυψη

Η υδατική φάση είναι το σημαντικότερο συστατικό που συμμετέχει στις διαδικασίες αποσάθρωσης, κυρίως μέσω της μεταφοράς χημικών συστατικών της ατμόσφαιρας (πχ CO_2) τα οποία προσβάλλουν τα ορυκτά των πετρωμάτων. Οι αντιδράσεις αυτές ονομάζονται αντιδράσεις **υδρόλυσης** και έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή της σύστασης του ορυκτού και του προκύπτοντος διαλύματος.

Γενικότερα οι αντιδράσεις υδρόλυσης προκαλούν:

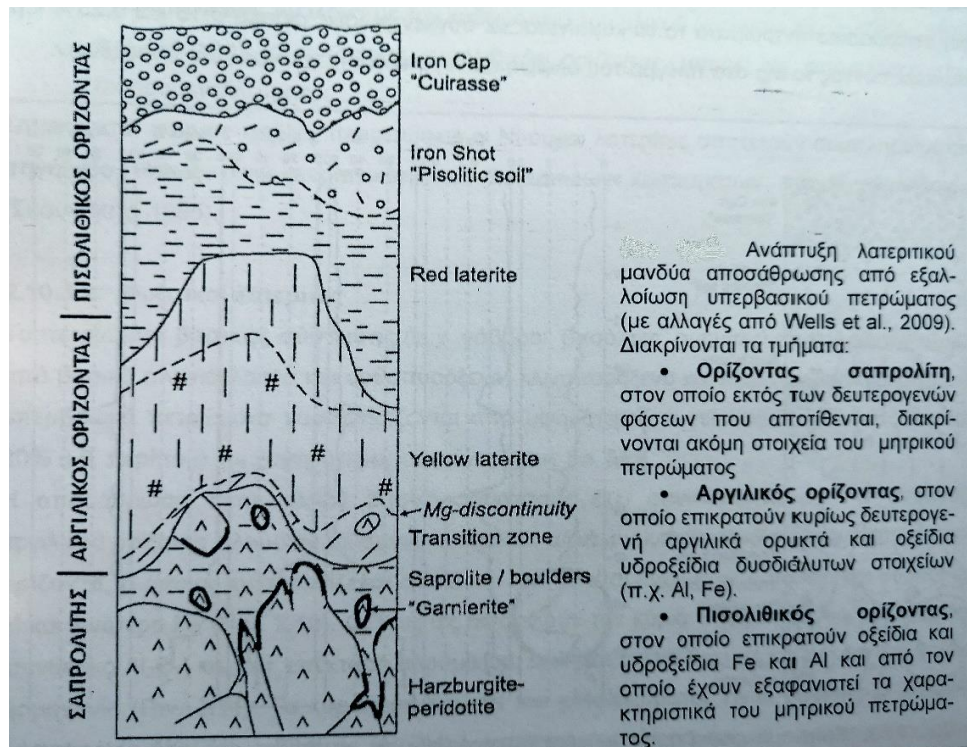
- Απομάκρυνση ευδιάλυτων συστατικών από το πέτρωμα, όπως αλκάλια (πχ K)
- Μείωση του όγκου του πετρώματος λόγω διαλυτοποίησης
- Εμπλουτισμό σε στοιχεία δυσδιάλυτα στο επιφανειακό περιβάλλον (πχ Al, Fe, Ni, Co) (Τριανταφυλλίδης, 2015)

3.3.2 Λατεριτικοί φλοιοί αποσάθρωσης

Οι αντιδράσεις υδρόλυσης δεν πραγματοποιούνται άμεσα αλλά σταδιακά, με την ταχύτητά τους να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τη σύσταση της

πρωτογενούς φάσης που επηρεάζεται. Το τελικό αποτέλεσμα είναι η ανάπτυξη ενός του μανδύα πάνω από το μητρικό πέτρωμα ο οποίος ονομάζεται «**Λατερίτης**» και η διαδικασία «**Λατεριτική αποσάθρωση**». Ανεξαρτήτως του είδους και της σύστασης του μητρικού πετρώματος, ένας λατεριτικός φλοιός αποσάθρωσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα τμήματα από κάτω προς τα πάνω:

- **Ορίζοντας σαπρολίτη.** Αναπτύσσεται σταδιακά αντικαθιστώντας το μητρικό πέτρωμα, παρόλα αυτά διατηρούνται ακόμα ιστολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του μητρικού πετρώματος. Διαθέτει σπασίματα και ρωγμές στα οποία αποτίθενται νέες ορυκτολογικές φάσεις λόγω των αντιδράσεων υδρόλυσης. Τα ευδιάλυτα χημικά συστατικά όπως αλκάλια, οι αλκαλικές γαίες απομακρύνονται από το πέτρωμα και τα λιγότερο διαλυτά όπως Al, Fe δημιουργούν στις ρωγμές δευτερογενείς φάσεις. Από κάτω προς τα πάνω παρατηρείται αύξηση πορώδους, αύξηση συμμετοχής προϊόντων αποσάθρωσης και μείωση της συνεκτικότητας του πετρώματος.
- **Αργιλικός ορίζοντας.** Αποτελείται κυρίως από αργιλικά ορυκτά και ο ιστός του μητρικού πετρώματος διατηρείται κατά θέσεις. Παρατηρούνται οξείδια κι υδροξείδια δυσδιάλυτων στοιχείων (όπως Fe και Al) τα οποία δημιουργούν κονδύλους ή κηλίδες.
- **Πισολιθικός ορίζοντας ή ορίζοντας κροκαλοπαγούς.** Αναπτύσσεται πάνω από τον αργιλικό ορίζοντα. Ο ιστός του μητρικού πετρώματος έχει εξαφανιστεί τελείως κι επικρατούν κυρίως οξείδια κι υδροξείδια Fe και Al τα οποία δημιουργούν ωειδή, πισοειδή και πελοειδή σωματίδια. (Τριανταφυλλίδης, 2015)



Εικόνα 3.2: Ανάπτυξη λατεριτικού μανδύα αποσάθρωσης (Τριανταφυλλίδης, 2015)

Από τέτοια λατεριτικά εδάφη σχηματίστηκαν στον ελλαδικό χώρο τα περίφημα κοιτάσματα των βωξιτών στη ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας και τα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα στην κεντρική Ελλάδα (Λάρυμνα, Κεντρική Εύβοια).

3.3.3 Νικελιούχοι Λατερίτες

Τα πετρώματα υπερβασικής σύστασης όπως δουνίτες, χαρτζβουργίτες, περιδοτίτες αποτελούνται κυρίως από ολιβίνη, κλινοπυρόξενο, ορθοπυρόξενο και πλαγιόκλαστο. Στα υγιή υπερβασικά πετρώματα το νικέλιο κυμαίνεται σε συγκεντρώσεις μεταξύ 0,15% και 0,25% υποκαθιστώντας κυρίως το Mg στο πλέγμα του ολιβίνη. Οι διαδικασίες αποσάθρωσης προκαλούν απελευθέρωση του νικελίου, το οποίο αποτίθεται εκ νέου στο κατώτερο τμήμα του λατερίτη δηλαδή στον ορίζοντα του σαπρολίτη και λιγότερο στον αργιλικό και πισολιθικό ορίζοντα. Το νικέλιο ενδομείται στο πλέγμα ένυδρων πυριτικών φάσεων όπως νικελιούχος χλωρίτης, νικελιούχος σερπετίνης, νικελιούχος μοντμοριλλονίτης αλλά και στο πλέγμα οξειδίων και υδροξειδίων του Fe (γκαιτίτης, αιματίτης). Το σύνολο των ένυδρων πυριτικών φάσεων που περιέχουν Ni έχει χαρακτηριστικό ανοικτό γαλαζοπράσινο χρώμα και είναι γνωστό

με το όνομα γαρνιερίτης. Σε λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης που προκύπτουν από την εξαλλοίωση υπερβασικών πετρωμάτων παρατηρείται:

- **Εμπλουτισμός σε Ni** στον ορίζοντα του σαπρολίτη που μπορεί να φτάσει και το 3% και στον αργιλικό σε ποσοστό μεγαλύτερο του 1%.
- Ο ανώτερος πηλολιθικός ορίζοντας εμπλουτίζεται σε Fe (μέχρι 60%). Ανάλογα με την καθαρότητα του υλικού, ο ανώτερος πηλολιθικός ορίζοντας μπορεί να αποτελέσει πηγή σιδηρομεταλλεύματος.

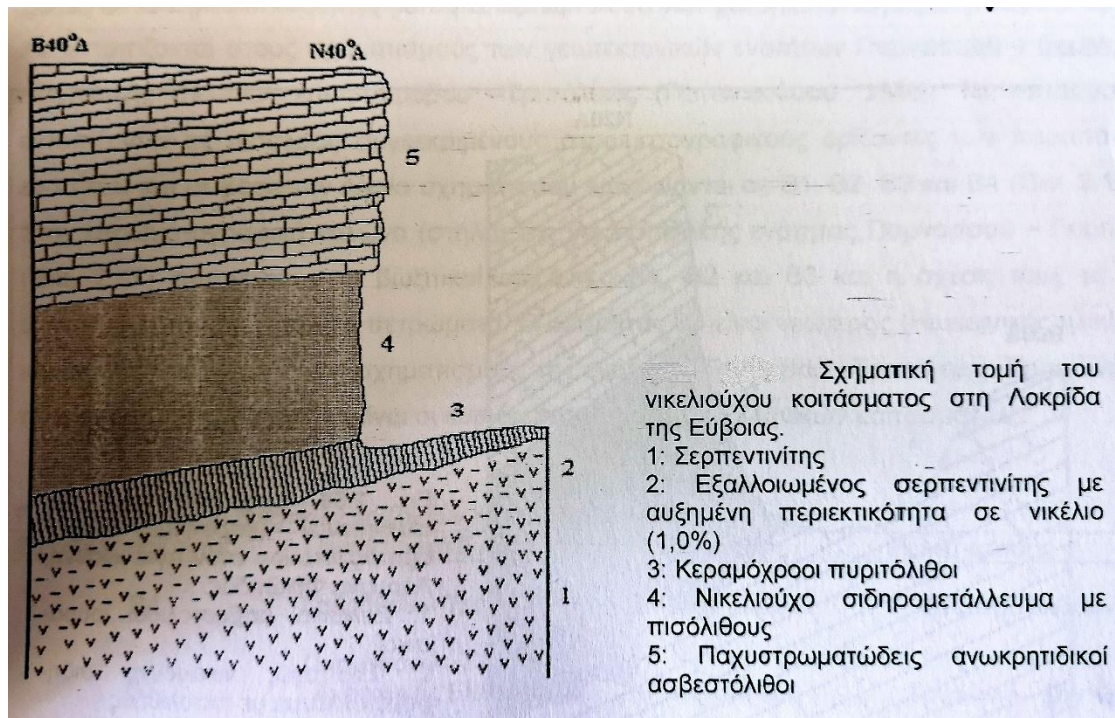


Εικόνα 3.3: Τυπικό πέτρωμα σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος

3.4 Υπολειμματικά κοιτάσματα Νικελίου στην Ελλάδα

Τα κυριότερα υπολειμματικά κοιτάσματα Νικελίου στην Ελλάδα υπάγονται σε δύο κατηγορίες:

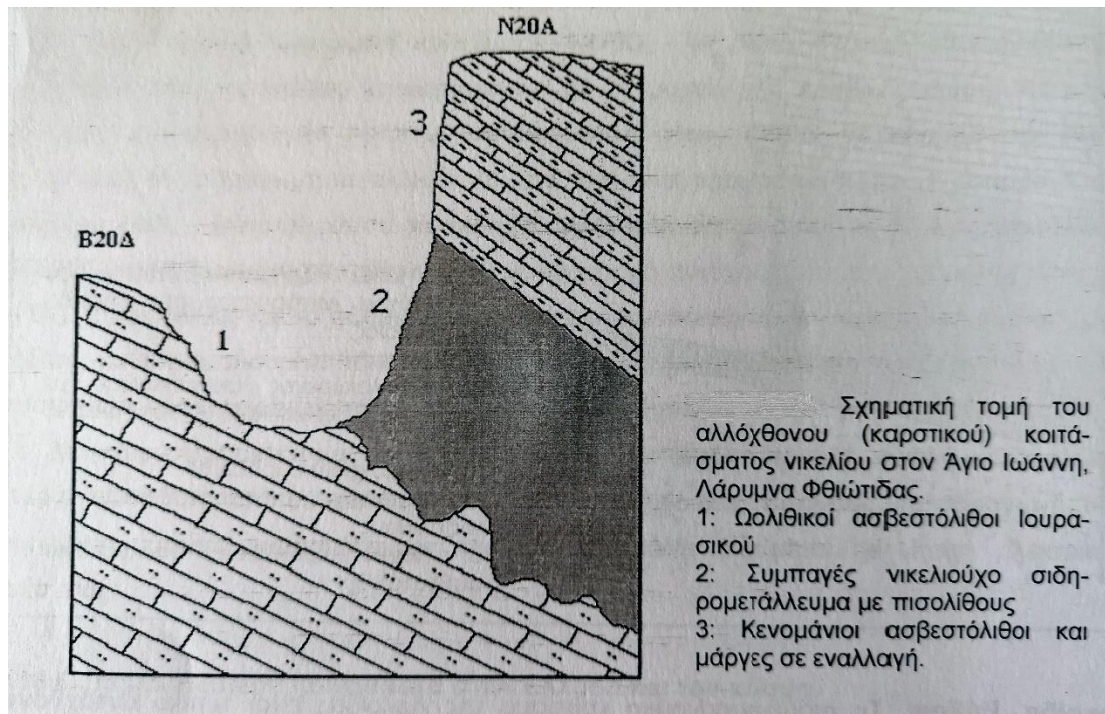
- **Αυτόχθονα**, δηλαδή διατηρούνται στις θέσεις σχηματισμού. Πρόκειται για τυπικούς νικελιούχους λατερίτες κι εντοπίζονται στην Κεντρική Εύβοια, στη Λοκρίδα (Εύβοια) και στην Ιεροπηγή Καστοριάς.
- **Παρααυτόχθονα ή αλλόχθονα**, τα οποία είτε έχουν μεταφερθεί σε μικρή απόσταση και βρίσκονται πάνω σε υπερβασικά πετρώματα με τα οποία όμως δεν έχουν γενετική σχέση, είτε υπέρκεινται ανθρακικών πετρωμάτων. Το κοιτάσμα του Αγίου Ιωάννη στη Φθιώτιδα αποτελεί τυπική περίπτωση αλλόχθονου κοιτάσματος καρστικού νικελίου



Εικόνα 3.4: Σχηματική τομή του Νικελιούχου κοιτάσματος στη Λοκρίδα της Εύβοιας (Τριανταφυλλίδης, 2015)

Λοκρίδα, Εύβοια: Το σιδηρονικελιούχο κοιτάσμα της Λοκρίδας είναι τυπικό αυτόχθονο κοιτάσμα νικελιούχου λατερίτη, με τον ορίζοντα του εξαλλοιωμένου σερπεντινίτη να εμφανίζει εμπλουτισμό σε Ni που φτάνει το 1%. Το μέταλλευμα αποτελείται από αιματίτη, λειμωνίτη (γκαιτίτης, λεπιδοκροκίτης), χλωρίτη, χαλαζία, μικρότερες συγκεντρώσεις χρωμίτη, μαγνητίτη και ίχνη μαλαχίτη, μαρκασίτη. Ο χλωρίτης είναι η κύρια ορυκτολογική φάση του Ni, με το περιεχόμενο του κοιτάσματος σε Ni να αυξάνεται από το δάπεδο προς το ανώτερο τμήμα του μεταλλεύματος.

Άγιος Ιωάννης, Λάρυμνα, Φθιώτιδα: Πρόκειται για τυπικό αλλόχθονο κοιτάσμα από μεταφορά. Το λατεριτικό υλικό έχει μεταφερθεί κι αποτεθεί σε καρστικά έγκοιλα ωολιθικών ασβεστολίθων του Ιουρασικού. Το μέταλλευμα έχει καλυφθεί από ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους με ενδιαστρώσεις μαργών. Εμφανίζει πισολιθικό ιστό κι έχει μήκος περίπου 4 km και πάχος περίπου 8 m. Το μέταλλευμα χαρακτηρίζεται από την ακόλουθη ορυκτολογία: αιματίτης, γκαϊτίτης, χαλαζίας, χρωμίτης, ασβεστίτης, χλωρίτης, ιλλίτης, τάλκης και μαρκασίτης, με τον χλωρίτη να αποτελεί τον κυριότερο φορέα Ni. Όσον αφορά τα χημικά χαρακτηριστικά, το μέταλλευμα παρουσιάζει υψηλές περιεκτικότητες σε Fe, Mg, Al, Cr και Si, με το ποσοστό του Ni να βρίσκεται στο όριο εκμεταλλευσιμότητας (<1%).



Εικόνα 3.5: Σχηματική τομή του αλλόχθονου (καρστικού) κοιτάσματος Νικελίου στον Άγιο Ιωάννη, Λάρυμνα Φθιώτιδας (Τριανταφυλλίδης, 2015)

Ιεροπηγή, Καστοριά: Πρόκειται για αυτόχθονο κοίτασμα νικελιούχου λατερίτη, το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλές περιεκτικότητες σε Fe και χαμηλές σε Al και Si. Η περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε Ni κυμαίνεται μεταξύ 0,6% και 1,4% περίπου, με τις συγκεντρώσεις του Ni να παρουσιάζουν σχετική αύξηση από την επιφάνεια προς κατώτερους ορίζοντες. Το μέταλλευμα καλύπτεται από τεταρτογενείς (πλειοκαινικές και νεότερες) αποθέσεις της Μεσοελληνικής Αύλακας, συνεπώς η ηλικία του τοποθετείται στο Τριτογενές ή και παλιότερα. Το μέταλλευμα αποτελείται από οξειδία-υδροξειδία Fe, χαλαζία, σερπεντίνη, χρωμίτη, ασβεστίτη, τάλκη, αιματίτη και χλωρίτη.

Κεφάλαιο 4. Προβλήματα που αφορούν το θείο (S)

4.1 Θείο στους χάλυβες

Στους κοινούς χάλυβες που παράγονται συναντάμε εκτός από τον άνθρακα και άλλες προσμίξεις σε χαμηλές περιεκτικότητες όπως μαγγάνιο (Mn) και πυρίτιο (Si), καθώς και επιβλαβείς ακαθαρσίες όπως το θείο (S) και ο Φώσφορος (P). Οι επιβλαβείς αυτές ακαθαρσίες που προέρχονται από τις πρώτες ύλες παραγωγής του σιδήρου και του χάλυβα δεν είναι δυνατόν να απομακρυνθούν ολοσχερώς. Είναι γνωστό ότι και τα δυο αυτά στοιχεία συμβάλλουν στην θερμοψαθυρότητα του χάλυβα και αυξάνουν την κρίσιμη θερμοκρασία μετάβασης από την όλκιμη στην ψαθυρή θραύση. Οι ακαθαρσίες αυτές πρέπει να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα, συνεπώς τα όρια κάτω από τα οποία πρέπει να βρίσκονται φεύγοντας από το εργοστάσιο είναι 0,130% για το θείο και 0,02% για το φώσφορο. (Παπαδημητρίου, 1993)

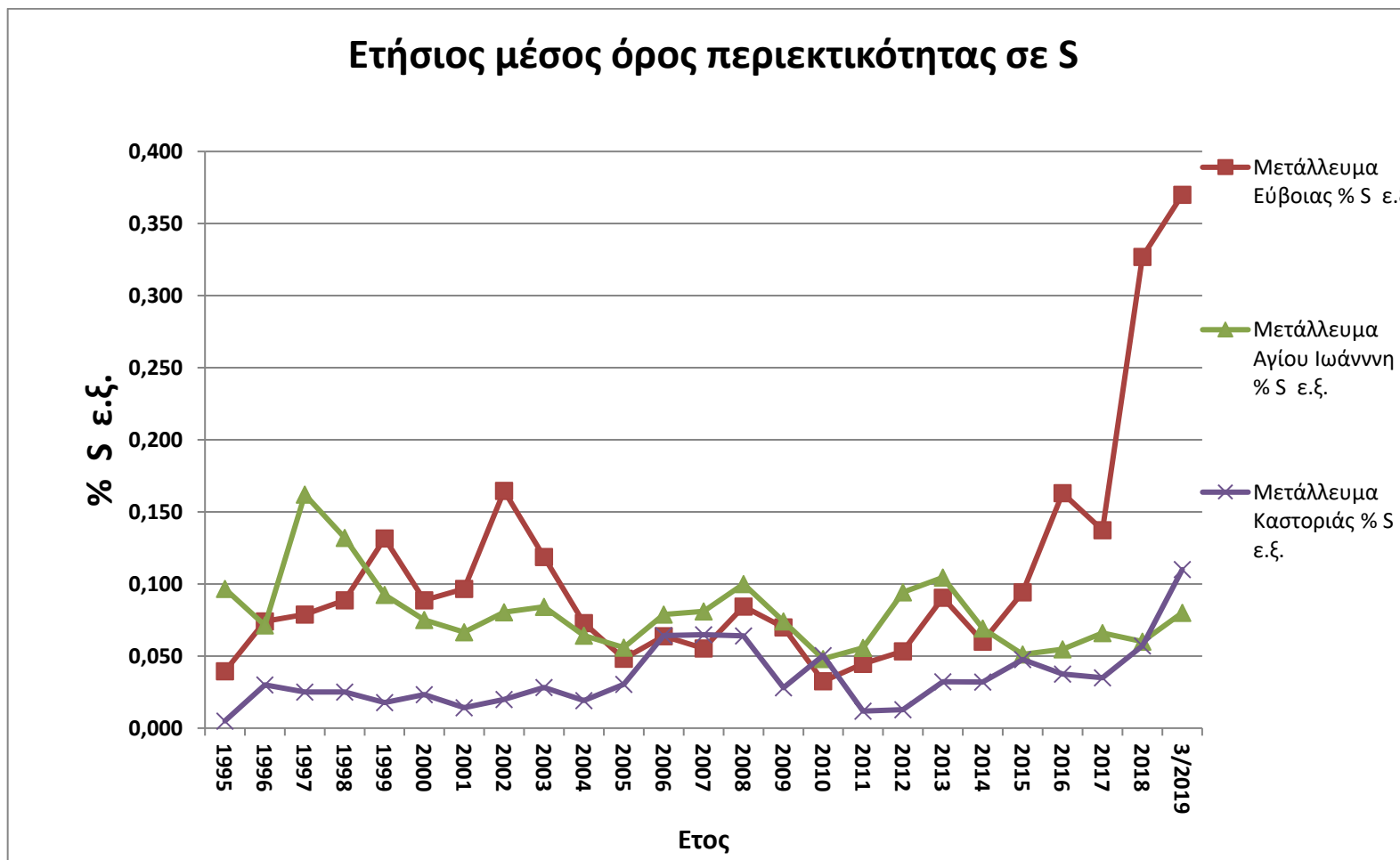
4.2 Θείο στα μεταλλεύματα

Το εργοστάσιο μεταλλουργίας της ΛΑΡΚΟ δέχεται μέταλλευμα από διάφορα μεταλλεία, το οποίο έχει διαφορετικές περιεκτικότητες τόσο σε νικέλιο αλλά και σε άλλα στοιχεία επιβλαβή για το τελικό προϊόν όπως το θείο. Συνεπώς γίνεται μίξη όλων αυτών προκειμένου το μεταλλουργικό μίγμα που θα μπει στις περιστροφικές καμίνους να διαθέτει όσο το δυνατόν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο.

Πίνακας 4.1: Ετήσιος μέσος όρος περιεχόμενου θείου μεταλλευμάτων από το 1995 μέχρι σήμερα (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ)

ΕΤΟΣ	Μετάλλευμα Εύβοιας	Μετάλλευμα Αγίου Ιωάννη	Μετάλλευμα Καστοριάς
	% S ε.ξ.	% S ε.ξ.	% S ε.ξ.
1995	0,04	0,10	0,01
1996	0,07	0,07	0,03
1997	0,08	0,16	0,03
1998	0,09	0,13	0,03
1999	0,13	0,09	0,02
2000	0,09	0,08	0,02
2001	0,10	0,07	0,01
2002	0,16	0,08	0,02
2003	0,12	0,08	0,03
2004	0,07	0,06	0,02
2005	0,05	0,06	0,03
2006	0,06	0,08	0,06
2007	0,06	0,08	0,06
2008	0,08	0,10	0,06
2009	0,07	0,07	0,03
2010	0,03	0,05	0,05
2011	0,04	0,06	0,01
2012	0,05	0,09	0,01
2013	0,09	0,10	0,03
2014	0,06	0,07	0,03
2015	0,09	0,05	0,05
2016	0,16	0,05	0,04
2017	0,14	0,07	0,03
2018	0,33	0,06	0,06
3/2019	0,37	0,08	0,11

Τα δεδομένα του πίνακα 4.1 απεικονίζονται σχηματικά στο διάγραμμα 4.1.



Διάγραμμα 4.1: Ετήσιος μέσος όρος περιεχόμενου θείου μεταλλευμάτων από το 1995 μέχρι σήμερα (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ)

Από το διάγραμμα 4.1 παρατηρούμε ότι το μέταλλευμα που προέρχεται από τα μεταλλεία της Εύβοιας (κόκκινη γραμμή) είναι αυτό που τα τελευταία πέντε χρόνια διαθέτει την μεγαλύτερη περιεκτικότητα επί τοις εκατό σε θείο, η οποία φτάνει το 0,37%. Γι' αυτό το λόγο μεγαλώνει και η συνολική περιεκτικότητα του μεταλλουργικού μίγματος, αναγκάζοντας τους ανθρώπους του εργοστασίου να το αντιμετωπίσουν αργότερα στους μεταλλάκτες ώστε να μειωθεί η περιεκτικότητα στο τελικό προϊόν. Αντίθετα το μέταλλευμα που προέρχεται από τα μεταλλεία του Αγίου Ιωάννη (πράσινη γραμμή) τα τελευταία χρόνια διαθέτει μια σχετικά σταθερή περιεκτικότητα γύρω στο 0,075%. Αυτό που διαχρονικά έχει τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε θείο (κάτω από 0,05%), αν εξαιρέσει κανείς τα τελευταία δυο χρόνια, είναι το μέταλλευμα που προέρχεται από τα μεταλλεία της Καστοριάς (μωβ γραμμή). Όμως και σ' αυτό παρατηρείται μια συνεχόμενη αύξηση που έχει ξεπεράσει το 0,1% τους τελευταίους μήνες.

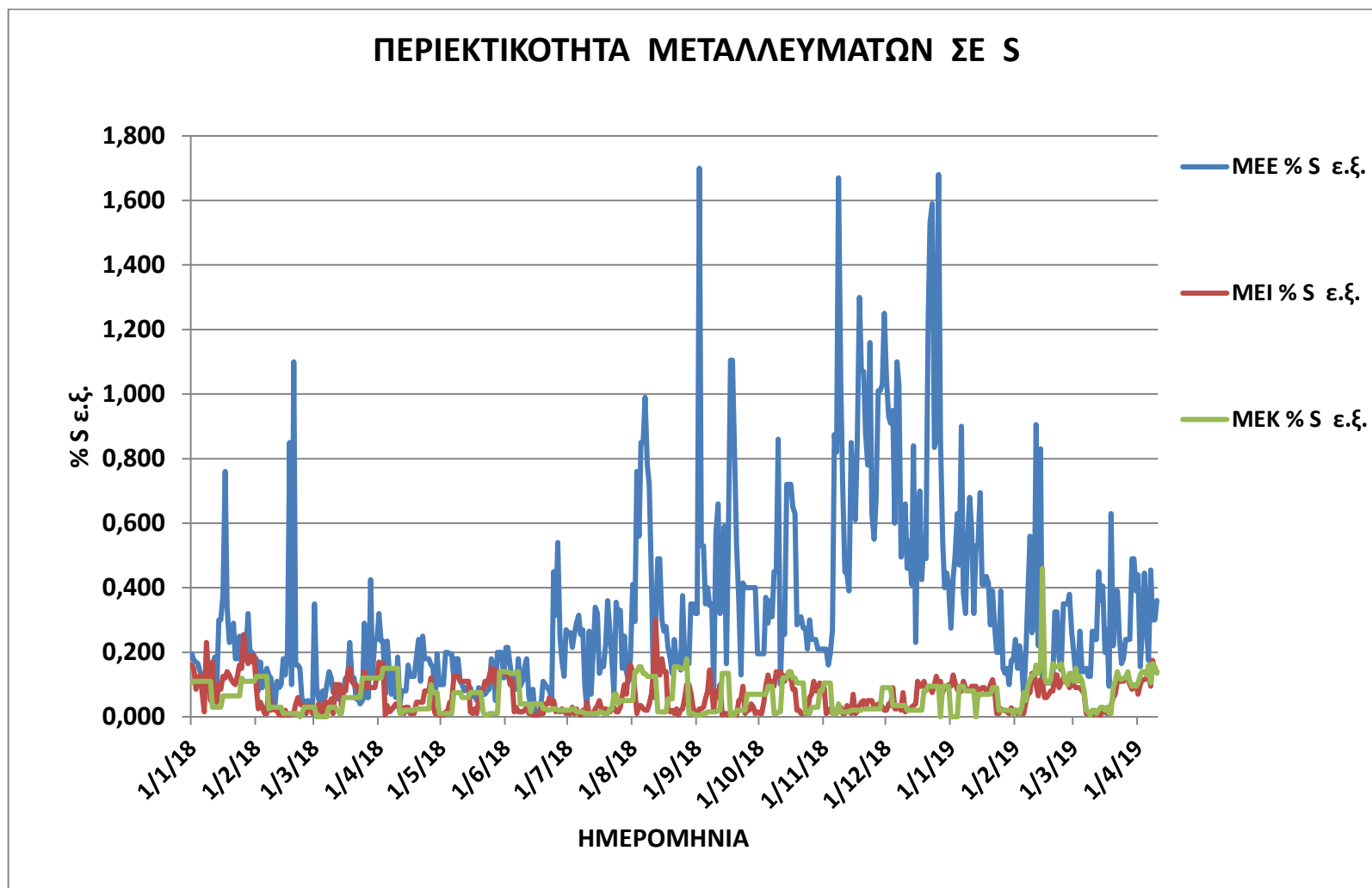
Πίνακας 4.2: Στοιχεία περιεκτικότητας θείου για το μέταλλευμα που εισέρχεται στο εργοστάσιο και για το σιδηρονικέλιο που εξέρχεται από τις ηλεκτρικές καμίνους για το 2018-2019 (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ)

	ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΑ					FENI H/K		
	MEE	MEI	MEK	S Φυσικού Λατερίτη	Φυσικός Λατερίτης	FENI H/K	FENI H/K	S FeNi H/K
	% S ε.ξ.	% S ε.ξ.	% S ε.ξ.	tn	% S ε.ξ.	tn	% S	tn
MO	0,324	0,063	0,064	10,01	0,192	325	0,372	1,19

Πίνακας 4.3: Στοιχεία περιεκτικότητας θείου για το σιδηρονικέλιο που εξέρχεται από τους μεταλλάκτες και ο λόγος μείωσης για το έτος 2018-2019 (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ)

FENI X/B					Λόγος Μείωσης		
FENI X/B	FENI X/B	FENI X/B	S FeNi X/B	LIMIT X/B	(% S FeNi H/K /% S FeNi X/B)	S H/K/ S Φ/Λ	S X/B /S Φ/Λ
Kgr	tn	% S	tn	% S (0,130)		%	%
215927	216	0,116	0,25	0,130	3,14	15,0	3,26

Στους παραπάνω πίνακες 4.2, 4.3 φαίνονται οι περιεκτικότητες σε θείο για το έτος 2018 – 2019 σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας του μεταλλεύματος, δηλαδή πως εισέρχεται το μέταλλευμα στο εργοστάσιο, με τι ποσοστό βγαίνει από τις ηλεκτρικές καμίνους και τους μεταλλάκτες ώστε να είναι έτοιμο προς πώληση. Παρατηρείται ότι ο μέσος όρος της περιεκτικότητας σε θείο των μεταλλευμάτων από τα μεταλλεία της Εύβοιας (ΜΕΕ) είναι αρκετά αυξημένος σε σχέση με τα μεταλλεία του Αγίου Ιωάννη (ΜΕΙ) και της Καστοριάς (ΜΕΚ), με το μίγμα του φυσικού λατερίτη να έχει μέσο όρο περιεκτικότητας 0,192%. Το ποσοστό της περιεκτικότητας του θείου στο σιδηρονικέλιο που βγαίνει από τις ηλεκτρικές καμίνους αυξάνεται στο 0,372%, ενώ μετά τους μεταλλάκτες και τη χρήση συλλιπασμάτων πέφτει στο 0,116% το οποίο είναι κάτω από το όριο του 0,130%. Τελικά ο λόγος μείωσης της περιεκτικότητας σε θείο καθ' όλη τη διαδικασία ανέρχεται σε 3.14.

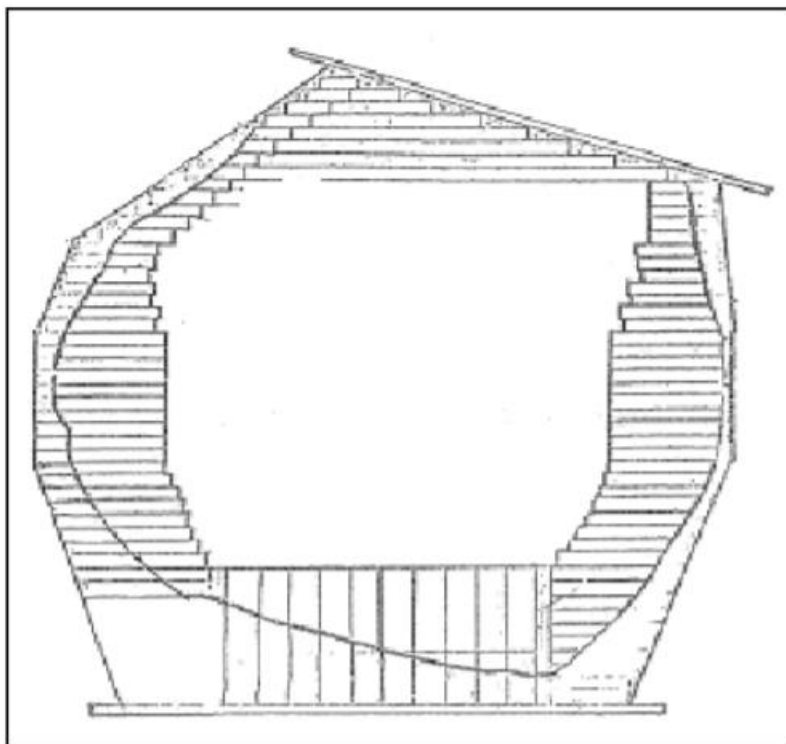


Διάγραμμα 4.2: Περιεκτικότητες μεταλλευμάτων σε θείο για το 2018-2019 (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ)

Από το παραπάνω διάγραμμα 4.2 διακρίνουμε ξεκάθαρα αυτό που δείχνουν οι πίνακες 4.2, 4.3 δηλαδή ότι τον τελευταίο χρόνο τα μεταλλεύματα που έρχονται από τα μεταλλεία της Εύβοιας (μπλε γραμμή) περιέχουν μεγάλη περιεκτικότητα θείου σε σχέση με τα μεταλλεία των άλλων δύο περιοχών. Η περιεκτικότητα σε θείο φτάνει μέχρι και το 1,7% γεγονός που κάνει πιο ακριβή την επεξεργασία του μεταλλεύματος, καθώς για τη μείωση του θείου στους μεταλλάκτες χρειάζεται η προσθήκη μεγαλύτερης ποσότητας κι ακριβότερης ποιότητας συλλιπασμάτων, όπως περιγράφεται στη συνέχεια. Αντίθετα, στα μεταλλεύματα του Αγίου Ιωάννη (μπορντό γραμμή) και της Καστοριάς (πράσινη γραμμή) παραμένουν σχετικά χαμηλές οι περιεκτικότητες σε θείο κάτω από 0,2%.

4.3 Αντιμετώπιση Θείου στην παραγωγική διαδικασία

Το θείο που μπαίνει σε περίσσεια από το μέταλλευμα αλλά και από τις χημικές αντιδράσεις που γίνονται στις ηλεκτρικές καμίνους πρέπει να μειωθεί ώστε το τελικό προϊόν να έχει συγκεκριμένη σύσταση με την οποία έχουν συμφωνήσει οι πελάτες της εταιρείας και αναγράφεται στα συμβόλαια. Αυτό επιτυγχάνεται στους μεταλλάκτες OBM. Πιο αναλυτικά, γίνεται εμφύσηση οξυγόνου (O_2) από τον πυθμένα μέσα στον μεταλλάκτη. Το οξυγόνο οξειδώνει αφενός το σίδηρο, οξειδώνει όμως κι ένα ποσοστό του θείου το οποίο καίγεται με αυτό και απομακρύνεται σαν διοξείδιο του θείου (SO_2). Παράλληλα στον μεταλλάκτη εισάγεται και συλλίπασμα το οποίο είναι οξείδιο του ασβεστίου (CaO) ή ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$), δηλαδή ασβεστόλιθος ο οποίος διασπάται σε διοξείδια κι οξείδια του ασβεστίου. Στη συνέχεια, το οξείδιο του ασβεστίου ενώνεται με το θείο δημιουργώντας θειούχο ασβέστιο (CaS) το οποίο επιπλέει και απομακρύνεται με τη σκουριά.



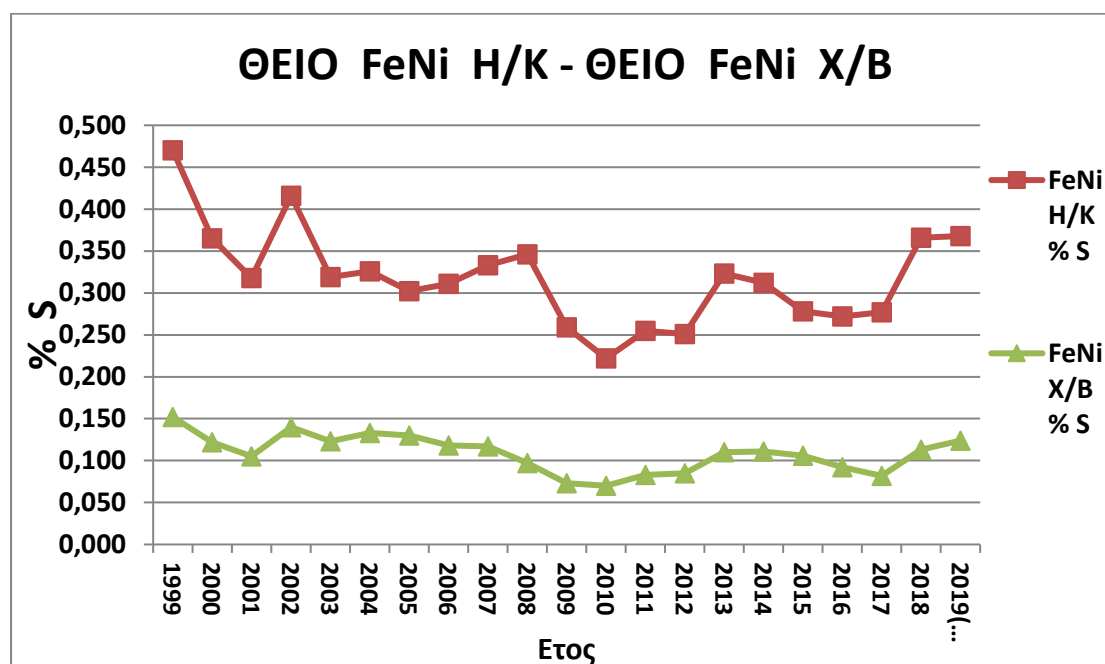
Εικόνα 4.1: Σχηματική απεικόνιση μεταλλάκτη OBM(*Oxygen Bottom Maxhutte*)

Πολλές φορές όταν έρχεται μεγάλο ποσοστό σε θείο από τις καμίνους, εισάγεται ανά μονάδα σιδηρονικελίου περισσότερο ή λιγότερο συλλίπασμα. Υπάρχουν διαφόρων ειδών συλλιπάσματα των οποίων η τιμή κυμαίνεται από 10€ έως 70€ ο τόνος. Υπάρχουν ακόμα περιπτώσεις όπου δεν χρειάζεται να προστεθεί καθόλου συλλίπασμα, όταν η περιεκτικότητα σε θείο με την οποία έρχεται το μέταλλευμα είναι χαμηλή ή όταν το σιδηρονικέλιο από τα καμίνια έρχεται με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο.

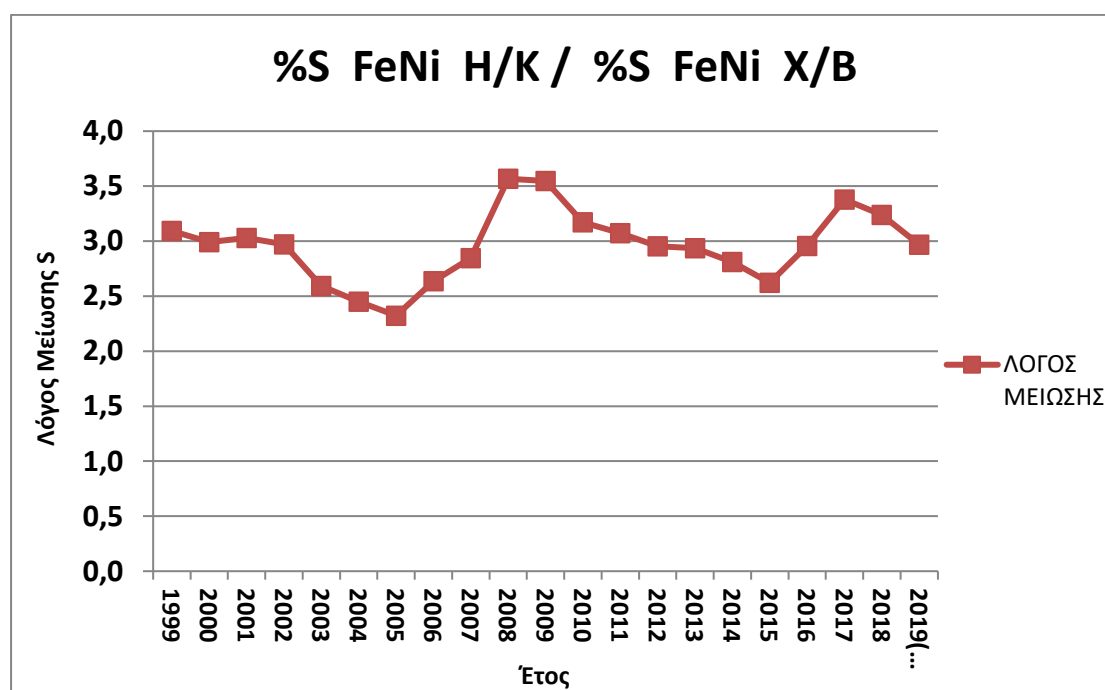
Πίνακας 4.4: Ετήσιος μέσος όρος περιεχόμενου θείου στο σιδηρονικέλιο που εισέρχεται στους μεταλλάκτες (FeNi H/K), στο τελικό προϊόν (FeNi X/B) και ο λόγος μείωσης από το 1999 μέχρι σήμερα (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ)

ΕΤΟΣ	FeNi H/K	FeNi X/B	ΛΟΓΟΣ ΜΕΙΩΣΗΣ
	% S	% S	
1999	0,470	0,152	3,09
2000	0,365	0,122	2,99
2001	0,318	0,105	3,03
2002	0,416	0,140	2,97
2003	0,319	0,123	2,59
2004	0,326	0,133	2,45
2005	0,302	0,130	2,32
2006	0,311	0,118	2,64
2007	0,333	0,117	2,85
2008	0,346	0,097	3,57
2009	0,259	0,073	3,55
2010	0,222	0,070	3,17
2011	0,255	0,083	3,07
2012	0,251	0,085	2,95
2013	0,323	0,110	2,94
2014	0,312	0,111	2,81
2015	0,278	0,106	2,62
2016	0,272	0,092	2,96
2017	0,277	0,082	3,38
2018	0,366	0,113	3,24
2019(1/1-31/3)	0,368	0,124	2,97
M.O.	0,319	0,109	2,96
MAX	0,470	0,152	3,57
MIN	0,222	0,070	2,32

Τα παραπάνω δεδομένα απεικονίζονται σχηματικά στα διαγράμματα 4.3 και 4.4.

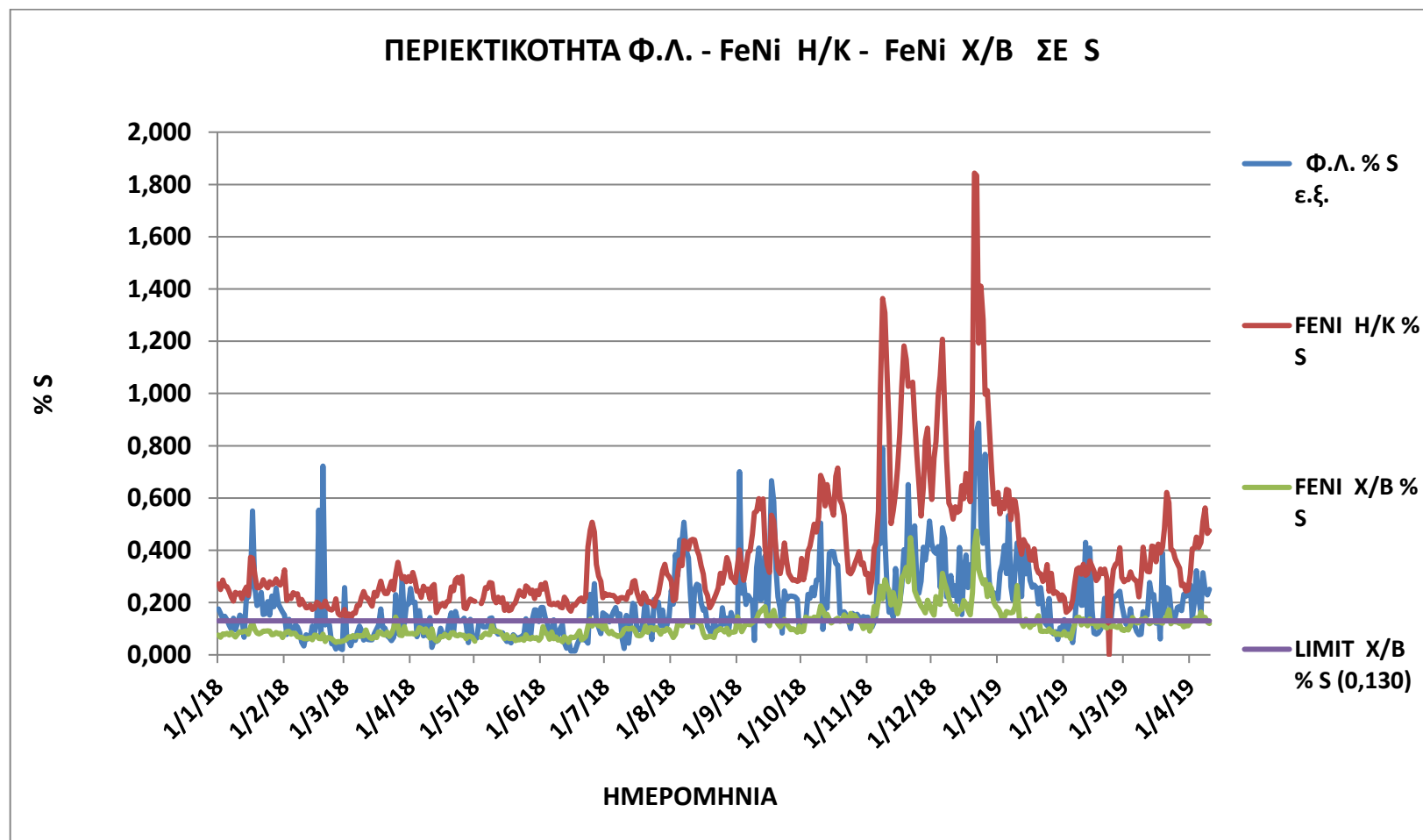


Διάγραμμα 4.3: : Ετήσιος μέσος όρος περιεχόμενου θείου στο σιδηρονικέλιο που μπαίνει στους μεταλλάκτες (FeNi H/K) και στο τελικό προϊόν (FeNi X/B) από το 1999 μέχρι σήμερα (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ)



Διάγραμμα 4.4: Λόγος μείωσης του θείου ανά έτος από το 1999 μέχρι και σήμερα (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ)

Από το διάγραμμα 4.3 παρατηρούμε ότι το σιδηρονικέλιο που βγαίνει από τις ηλεκτρικές καμίνους και εισέρχεται στους μεταλλάκτες παρουσιάζει αρκετές διακυμάνσεις όλα αυτά τα χρόνια. Ο μέσος όρος όλων των χρόνων από το 1999 μέχρι και σήμερα είναι 0,319%. Μόνο δυο χρονιές το 1999 και το 2002 ο μέσος όρος παρουσιάζεται πάρα πολύ αυξημένος, πάνω από το 0,4%, ενώ το 2010 ήταν η πιο καλή χρονιά αφού ο μέσος όρος παρουσιάζεται σχεδόν 0,2%. Επιπλέον, από το διάγραμμα 4.4 διακρίνεται η αισθητή μείωση του θείου που έχει το σιδηρονικέλιο μόλις βγαίνει από το μεταλλάκτη της τάξεως του 3% περίπου κατά μέσο όρο. Αυτό αποτελεί και το τελικό προϊόν που φεύγει από το εργοστάσιο κι έχει μέσο όρο περίπου 1,1% περιεκτικότητα σε θείο.

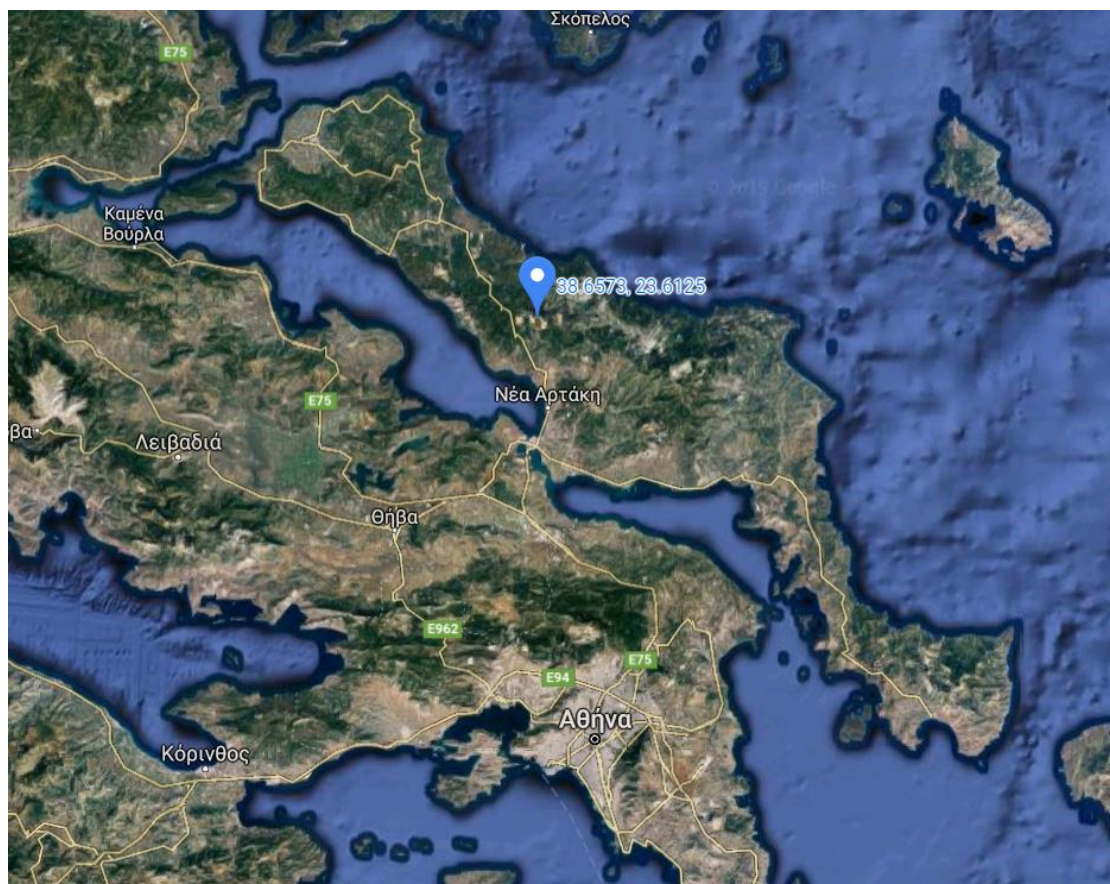


Διάγραμμα 4.5: Συγκεντρωτικές περιεκτικότητες σε θείο (φυσικός λατερίτης, σιδηρονικέλιο στον μεταλλάκτη, τελικό προϊόν, όριο εργοστασίου) για το 2018-2019 (Εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ)

Από το διάγραμμα 4.5 διακρίνεται με ευκολία ότι η υψηλή περιεκτικότητα σε θείο των μεταλλευμάτων (μπλε γραμμή) σχετίζεται με την περιεκτικότητα σε θείο στο σιδηρονικέλιο που βγαίνει από τις ηλεκτρικές καμίνους και είναι ελαφρά αυξημένη σε σχέση με την αρχική (μπορντό γραμμή). Επιπρόσθετα, ανάλογη συσχέτιση παρατηρείται και στο τελικό κοκκοποιημένο σιδηρονικέλιο που παράγει το εργοστάσιο και είναι έτοιμο για πώληση (πράσινη γραμμή). Για παράδειγμα, το διάστημα 11/18 – 01/19 που το μέταλλευμα περιείχε μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θείο, το τελικό προϊόν είχε κι αυτό μεγαλύτερη περιεκτικότητα. Η περιεκτικότητα αυτή μάλιστα ήταν πάνω από το όριο το 0,130% (μωβ γραμμή). Γενικότερα τους τελευταίους μήνες παρατηρείται μια οριακή κατάσταση στις περιεκτικότητες του τελικού σιδηρονικελίου άλλοτε πάνω και άλλοτε κάτω από το όριο του εργοστασίου.

Κεφάλαιο 5. Σχεδιασμός Υπαίθριας Εκμετάλλευσης Στην Περιοχή Ρεκαβέτσι

Η περιοχή στην οποία βρίσκεται το μεταλλείο όπου θα γίνει ο σχεδιασμός εκμετάλλευσης λατεριτών με βάση τις παραμέτρους νικελίου και θείου, ονομάζεται **Ρεκαβέτσι** και βρίσκεται στην κεντρική και βόρεια Εύβοια. Το μεταλλείο βρίσκεται δίπλα σε άλλα υπάρχοντα μεταλλεία στην ευρύτερη περιοχή μεταξύ Πολιτικών και Ψαχνών και συγκεκριμένα πιο βόρεια από το χωριό Σταυρός.



Εικόνα 5.1: Η περιοχή του μεταλλείου στο χάρτη (google earth)



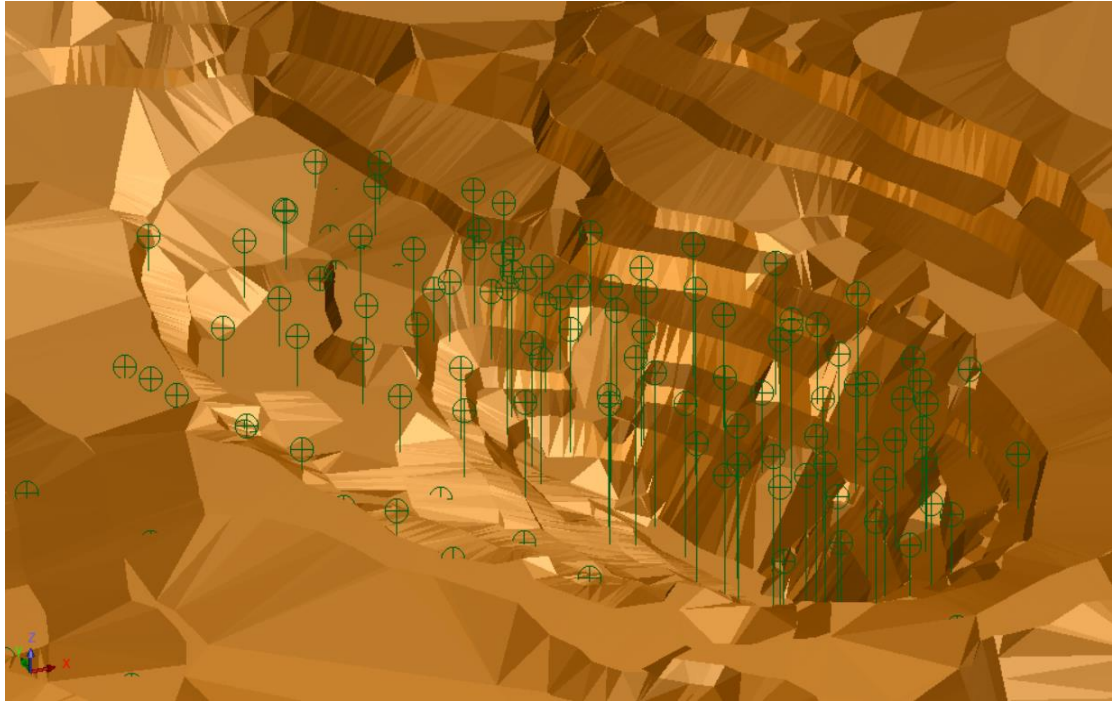
Εικόνα 5.2: Κάτοψη του μεταλλείου από δορυφόρο (google earth)

Η μοντελοποίηση του κοιτάσματος, η εκτίμηση των αποθεμάτων και ο τελικός σχεδιασμός της εκμετάλλευσής του, πραγματοποιήθηκε με το μεταλλευτικό πρόγραμμα SURPAC. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε, καθώς και τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

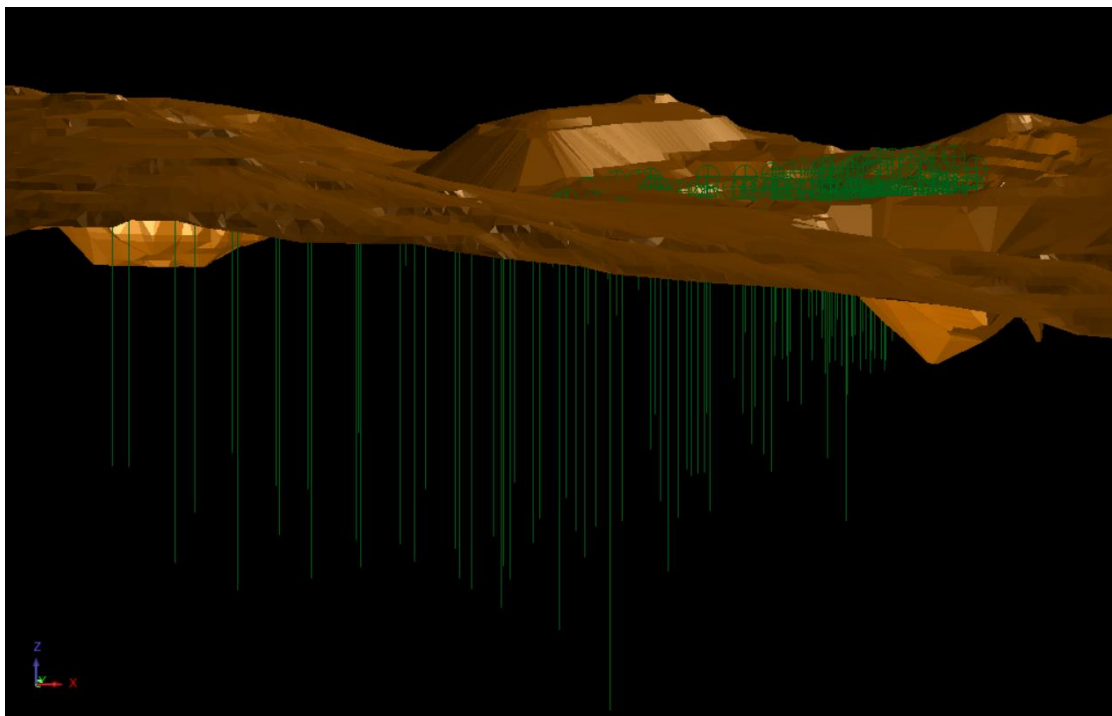
5.1 Γεωτρήσεις και Βάση Δεδομένων

Αρχικά, απαραίτητη προϋπόθεση για την μοντελοποίηση του κοιτάσματος και την εκτίμηση των αποθεμάτων του είναι η κατασκευή μιας βάσης δεδομένων (**database**) μέσα στο πρόγραμμα. Έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία στο excel των πινάκων των δεδομένων των ερευνητικών γεωτρήσεων (**drillholes**) που δόθηκαν από την εταιρεία ΛΑΡΚΟ για τη συγκεκριμένη περιοχή, αλλά και ύστερα από κατάλληλη μετατροπή τους εισήχθησαν στο πρόγραμμα μέσα στη βάση δεδομένων. Η βάση δεδομένων που κατασκευάστηκε περιλαμβάνει τα δεδομένα των γεωτρήσεων, τις συντεταγμένες των γεωτρήσεων, την περιεκτικότητα του χρήσιμου συστατικού (νικέλιο) στα διάφορα βάθη της γεώτρησης αλλά και των στοιχείων που αποτελούν παραμέτρους τις εκμετάλλευσής, όπως το θείο. Επιπλέον, περιλαμβάνει τα μήκη των

γεωτρήσεων καθώς και γεωλογικά δεδομένα όπως η λιθόφαση. Εκτός από τις ερευνητικές γεωτρήσεις από τη εταιρεία παραχωρήθηκε και ένα αρχείο του αρχικού ψηφιακού αναγλύφου που αναφέρεται στο κοίτασμα Ρεκαβέτσι, το οποίο αποτελεί ένα από τα πέντε κοιτάσματα των μεταλλείων Ευβοίας.



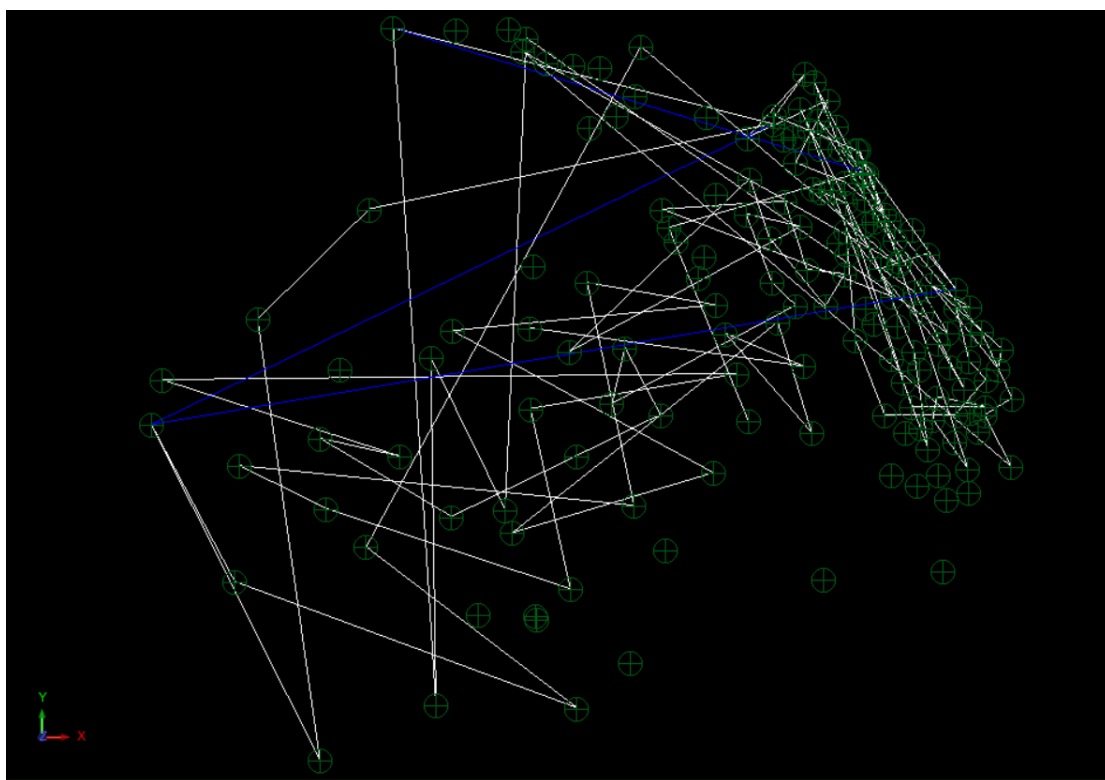
Εικόνα 5.3: Οι γεωτρήσεις στο αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής (I)



Εικόνα 5.4: Οι γεωτρήσεις στο αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο της περιοχής (II)

5.2 Προσδιορισμός τιμών κατά μήκος των γεωτρήσεων

Στο επόμενο στάδιο από την κατασκευή της βάσης δεδομένων δίνεται εντολή στο πρόγραμμα να προσδιορίσει τιμές κατά μήκος των γεωτρήσεων. Έτσι, οι τιμές δίνονται βάση των σημειακών δεδομένων της δειγματοληψίας στα διάφορα βάθη κάθε γεώτρησης. Για το σκοπό αυτό διαιρείται η γεώτρηση σε διαστήματα κάθε ένα από τα οποία λαμβάνει μία συγκεκριμένη τιμή. Έπειτα από αρκετές δοκιμές των παραμέτρων κατασκευής, για την πυκνότητα (composite length) της δειγματοληψίας στη γεώτρηση δόθηκε το διάστημα 1 m και για το ελάχιστο δείγμα που μπορεί να συμπεριληφθεί 95%. Επιπρόσθετα, επιλέχθηκαν το νικέλιο και το θείο σαν πληροφορίες ενδιαφέροντος. Το αρχείο το οποίο δημιουργήθηκε έχει τη μορφή που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 5.5).



Εικόνα 5.5: Αρχείο για τον προσδιορισμό των τιμών κατά μήκος των γεωτρήσεων

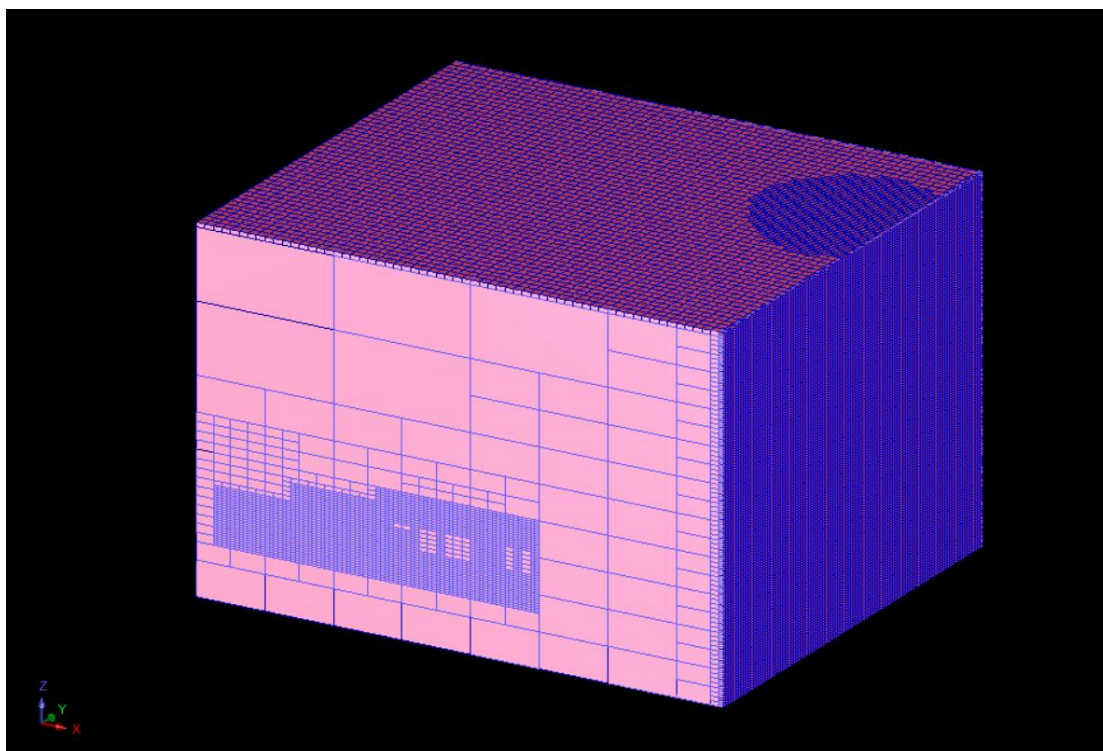
5.3 Block Model

5.3.1 Γενικές πληροφορίες για τα Block Models

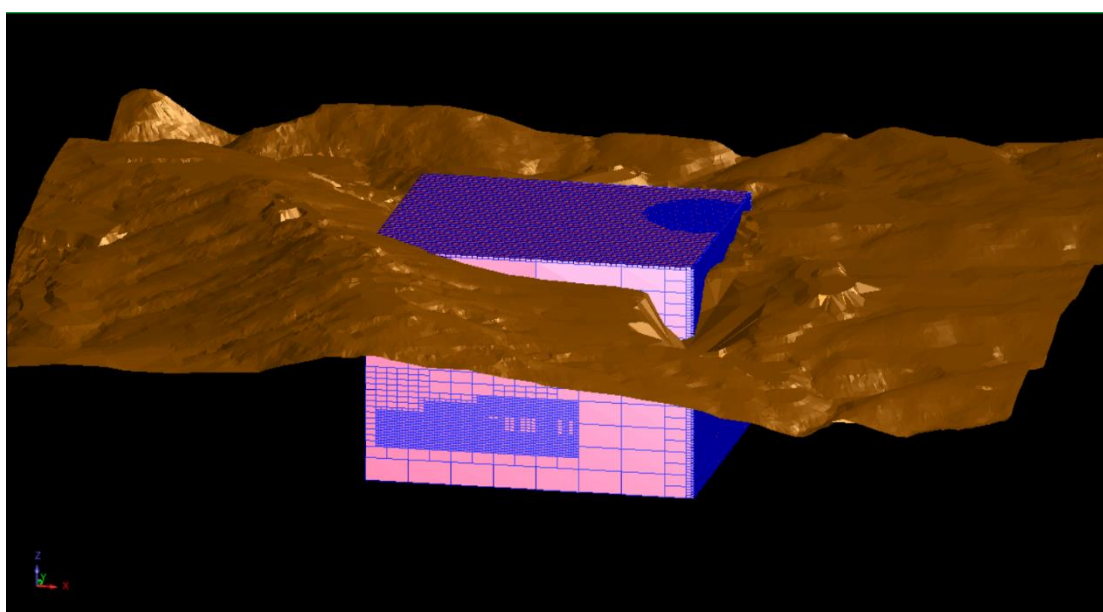
Στη συνέχεια το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία του **block model** του κοιτάσματος. Το μοντέλο που δημιουργείται προσαρμόζεται στις πραγματικές συνθήκες με την επιβολή τοπογραφικών περιορισμών (π.χ. επιφάνεια του εδάφους) αλλά και κοιτασματολογικών. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την κατάτμηση του κοιτάσματος σε blocks και στη συνέχεια την εκτίμηση της περιεκτικότητας του κάθε block. Οι διαστάσεις των blocks καθορίζονται από την πυκνότητα της δειγματοληψίας, τη μέθοδο εκμετάλλευσης, το μηχανικό εξοπλισμό κ.ά. Για τη χωρική παρεμβολή της πληροφορίας της περιεκτικότητας του κάθε block χρησιμοποιήθηκε, η μέθοδος των αντιστρόφων αποστάσεων (**inverse-distance-weighting**). Αυτή η μέθοδος βασίζεται στη λογική πως ο βαθμός επιρροής κάποιων μεγεθών είναι μέγεθος αντιστρόφως ανάλογο με την απόσταση, δηλαδή μικρή απόσταση σημαίνει μεγάλος βαθμός επιρροής. Τελικά, από το block model του κοιτάσματος μπορούν να προκύψουν πληροφορίες σχετικά με το συνολικό όγκο και τη μάζα του κοιτάσματος, τις ποσότητες των στερίων υλικών κ.λπ. (Μενεγάκη, 2010)

5.3.2 Κατασκευή Block Model

Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στο πρώτο στάδιο δίνει τα απαραίτητα στοιχεία για την δημιουργία του block model. Αρχικά περιέχει το αρχείο με συντεταγμένες της περιοχής που εισάγονται αυτόματα από αυτή και δημιουργούν το όριο του μοντέλου με βάση τις γεωτρήσεις που έχουν δοθεί προς εξέταση. Ακολούθως ορίστηκε το μέγεθος των blocks που θα δημιουργηθούν. Το μέγεθος εξαρτάται από την απόσταση των γεωτρήσεων και την πυκνότητα της δειγματοληψίας κατά μήκος της γεώτρησης. Επιπλέον, επιλέχθηκε η δυνατότητα μικρότερων blocks μέσα στα αρχικά, δημιουργώντας πιο πυκνή πληροφορία κι επιτρέποντας στο μοντέλο να δώσει περισσότερες από μία τιμές στο αρχικό block. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα για καλύτερη διαχείριση της πληροφορίας κι αύξηση της ακρίβειας των υπολογισμών. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, δημιουργήθηκαν μία σειρά από μοντέλα με διαφορετικές παραμέτρους, έτσι ώστε να επιλεγεί εν τέλει το ιδανικότερο.



Εικόνα 5.6: *To Block Model του κοιτάσματος*

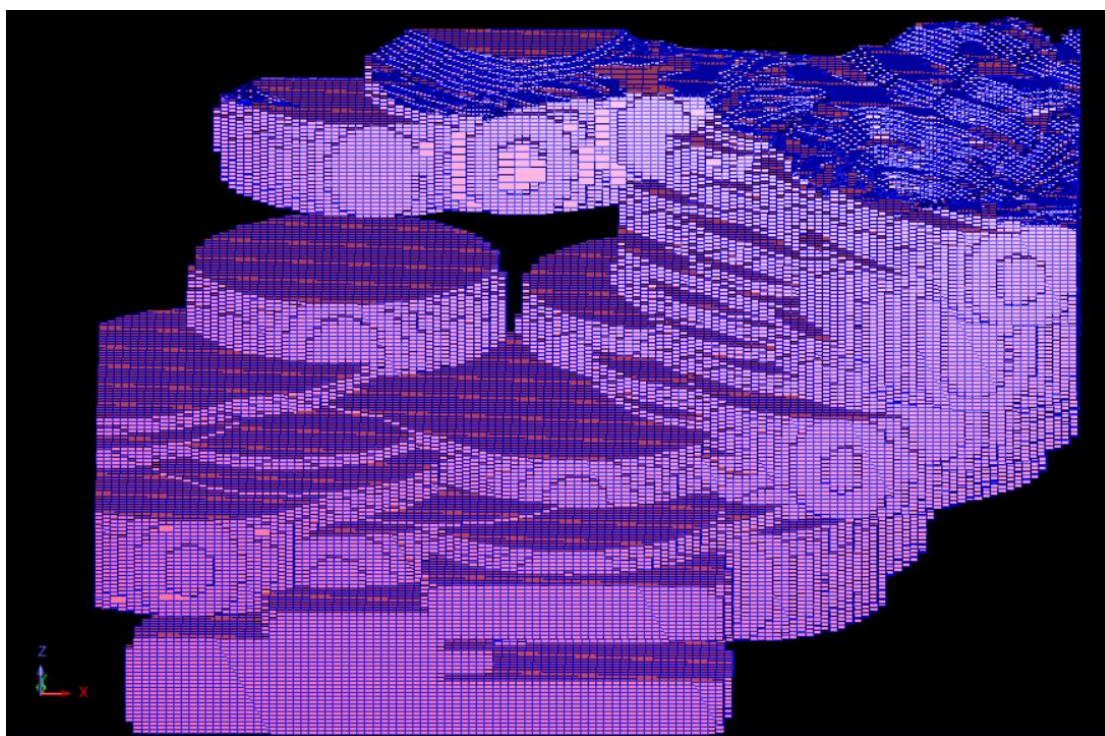


Εικόνα 5.7: *To Block Model και το αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο στο Ρεκαβέτσι*

Έπειτα, έγινε ορισμός των παραμέτρων για τα στοιχεία **Νικελίου** (Ni) και **Θείου** (S) με σκοπό να γίνει η εισαγωγή τους στο μοντέλο. Ακολούθησε επιλογή της μεθόδου δημιουργίας του μοντέλου (**inverse-distance**) συμπληρώνοντας τις παραμέτρους. Στη συνέχεια, έγινε ορισμός των παραμέτρων αναζήτησης των

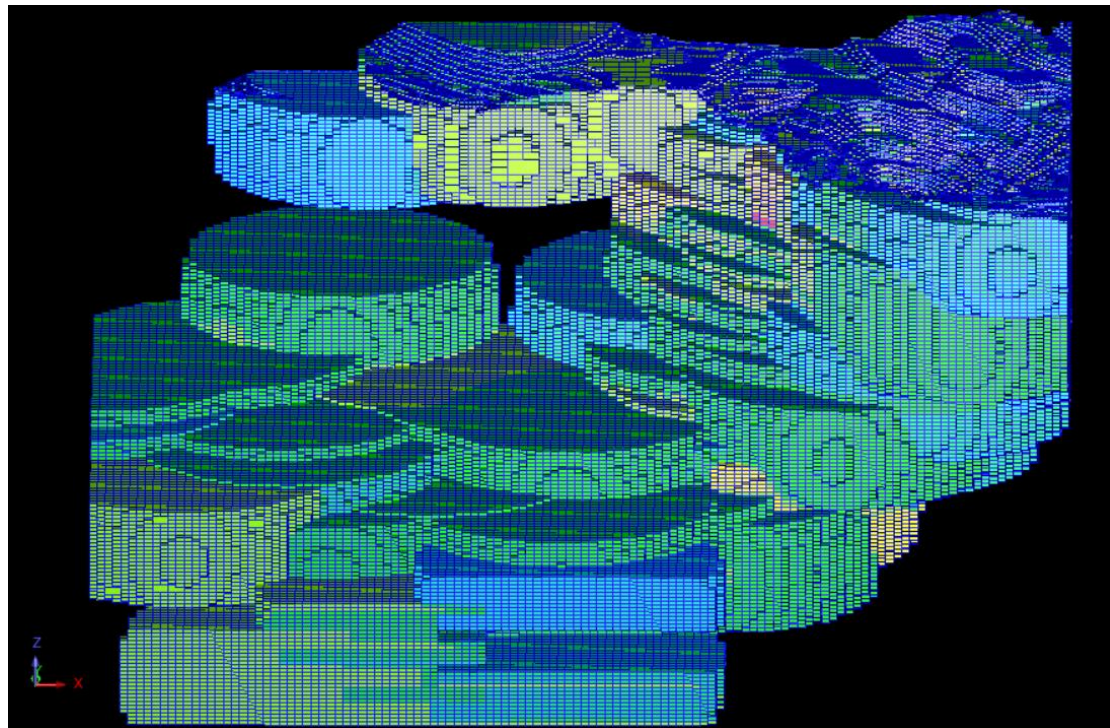
δεδομένων γειτονικών γεωτρήσεων με βάση τις οποίες τα blocks που δημιουργήθηκαν πήραν τιμές. Οι παράμετροι αυτές δεν ήταν σταθερές συνεπώς έπρεπε να επιτευχθεί μια σειρά από δοκιμές ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων. Τελικά με την ολοκλήρωση της διαδικασίας το μοντέλο πήρε τιμές για κάθε block ξεχωριστά.

Στο σημείο αυτό, το block model δεν είχε γεωγραφικούς περιορισμούς και συνεπώς καμία πληροφορία σχετικά με τη μορφολογία του εδάφους και τα πραγματικά όρια του κοιτάσματος. Τα όρια του κοιτάσματος καθορίστηκαν με βάση την οριακή περιεκτικότητα (**cut-off grade**), δηλαδή την ελάχιστη απαιτούμενη περιεκτικότητα σε νικέλιο για να είναι μία μονάδα όγκου του κοιτάσματος οικονομικώς εκμεταλλεύσιμη. Αυτή η ελάχιστη περιεκτικότητα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σύμφωνα με μελέτες της ΛΑΡΚΟ, η κατώτερη τιμή που θεωρείται ιδανική είναι το 0,5. **Συνεπώς και στην παρούσα εργασία κοιτάσμα οικονομικώς εκμεταλλεύσιμο θεωρήθηκε η περιεκτικότητα σε νικέλιο πάνω από 0,5%.** Τέλος, έγινε προσαρμογή του block model πάνω στο αρχικό τοπογραφικό ανάγλυφο που είχε δοθεί από την εταιρεία. Βάζοντας στο block model τον περιορισμό για το νικέλιο, το αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν το ακόλουθο:



Εικόνα 5.8: Block Model με περιορισμό $Ni \geq 0,5$

Στο επόμενο βήμα έγινε χρωματισμός του κοιτάσματος ανάλογα με την περιεκτικότητα του κάθε block σε νικέλιο. (Εικόνα 5.9)



-99 – 0,50%
0,5% – 0,80%
0,80% - 1,00%
1,00% – 1,20%
1,20% – 1,40%
1,40% – 1,60%
1,60% – 1,90%

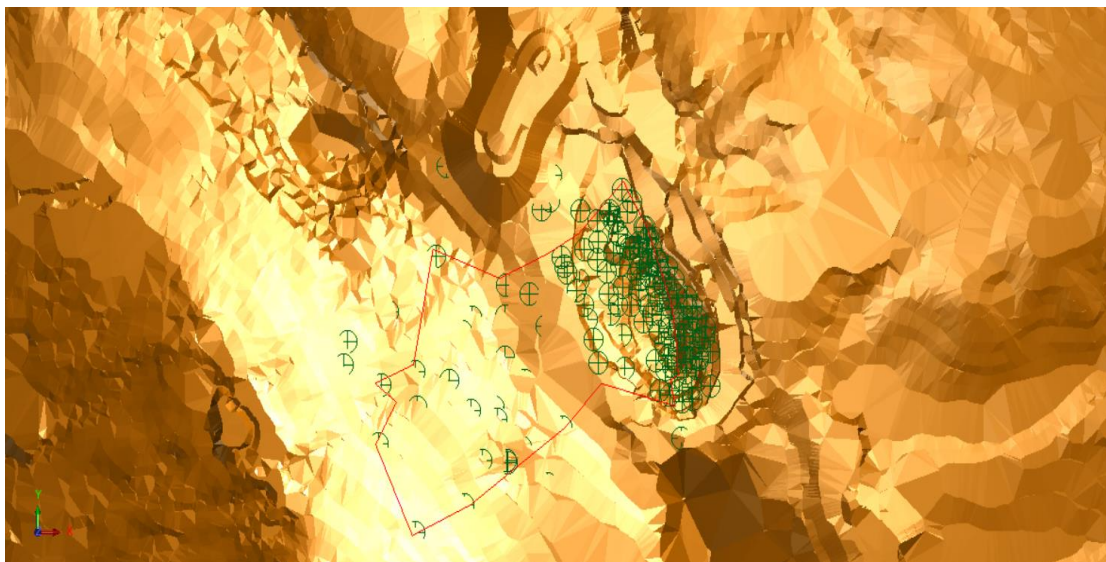
Εικόνα 5.9: Απεικόνιση της κατανομής της περιεκτικότητας σε νικέλιο

Με βάση τους υπολογισμούς την αναφορά για το συγκεκριμένο κοίτασμα παρατηρούμε ότι ο όγκος του μεταλλεύματος με περιεκτικότητα σε νικέλιο μεγαλύτερη από 0,5%, δηλαδή το οικονομικώς εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα, είναι **35.066.422 m³**, ενώ ο όγκος του μεταλλεύματος με περιεκτικότητα σε νικέλιο κάτω από 0,5% είναι **78.833.438 m³**. (Πίνακας 5.1)

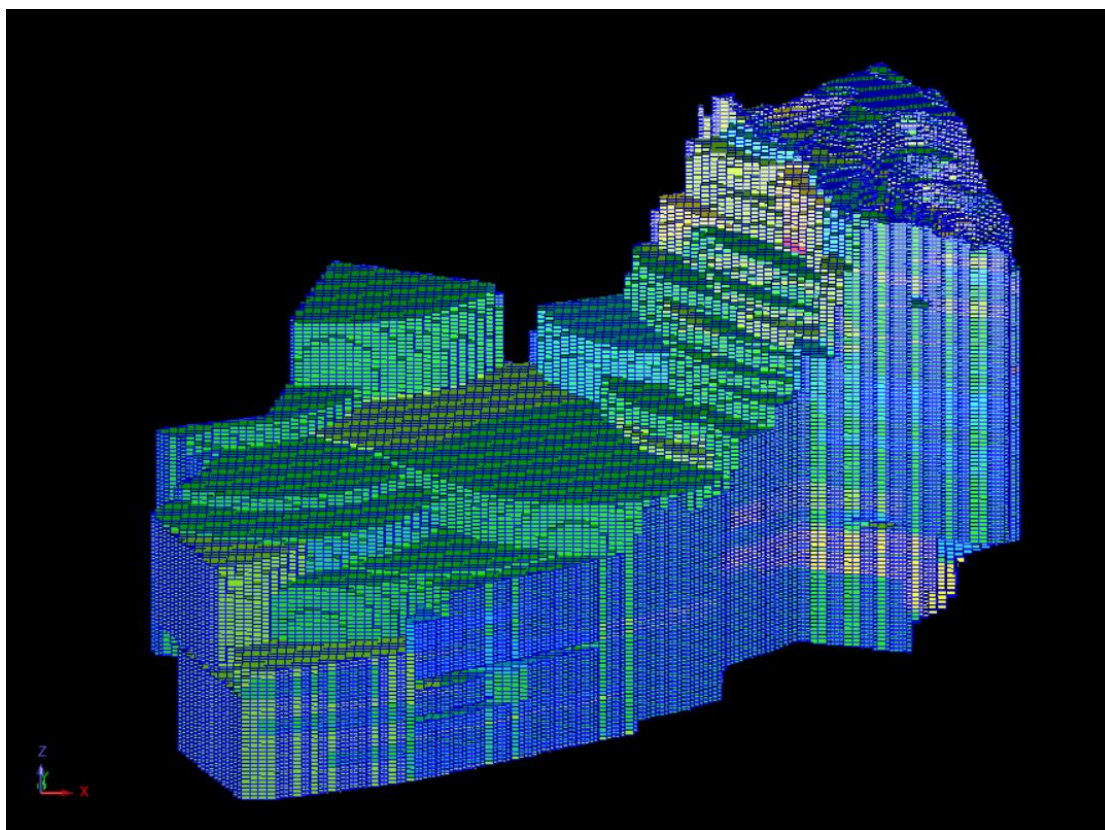
Πίνακας 5.1: Ποσότητες μεταλλεύματος και αγόνων υλικών στο υπό μελέτη κοίτασμα

Περιεκτικότητα σε Νικέλιο	Όγκος (m ³)	Μέση Περιεκτικότητα Νικελίου
-99,0 → 0,5	78.833.438	-96,81
0,5 → 1,9	35.066.422	0,89
Σύνολο	113.899.859	-67,87

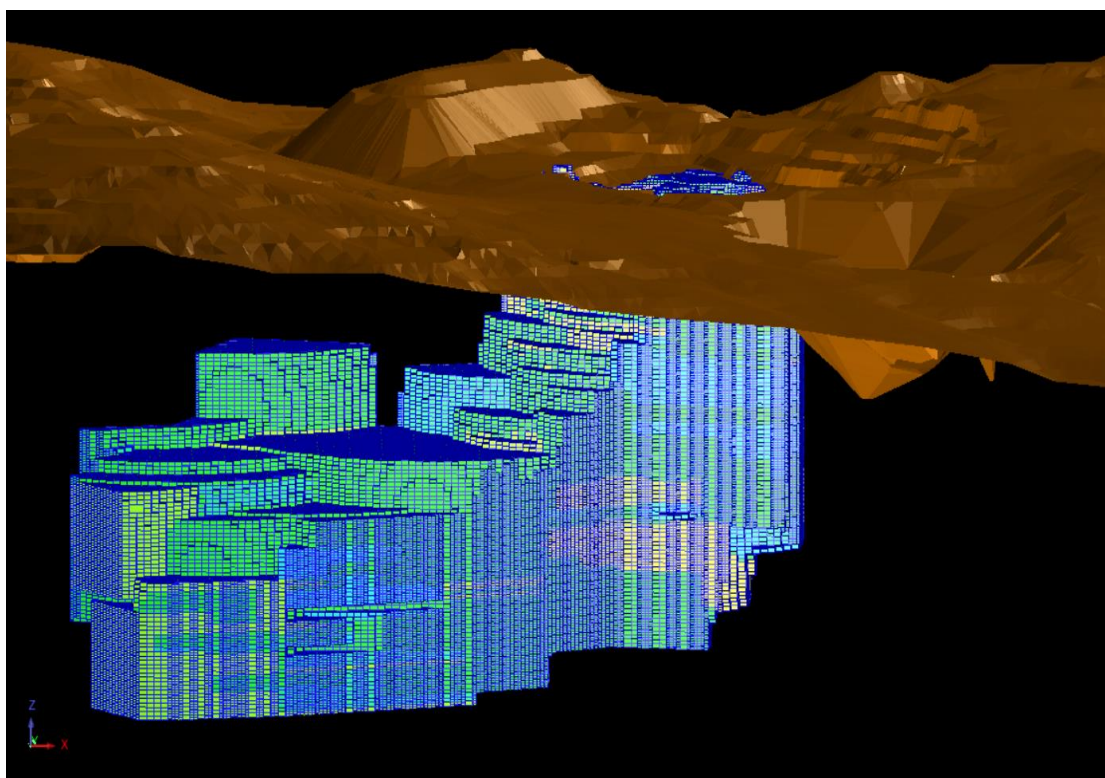
Στη συνέχεια ακολούθησε ένας ακόμη περιορισμός που είχε να κάνει με ένα όριο στις γεωτρήσεις που είχε θέσει η ίδια η εταιρεία και περιόρισε ακόμη περισσότερο την έκταση του κοιτάσματος.



Εικόνα 5.10: Όριο γεωτρήσεων



Εικόνα 5.11: *Block Model με περιορισμούς $N_i \geq 0,5$ και όριο γεωτρήσεων*



Εικόνα 5.12: *Block Model και αρχικό ψηφιακό ανάγλυφο*

Με βάση τους υπολογισμούς για το συγκεκριμένο κοίτασμα μετά από όλους τους περιορισμούς παρατηρούμε ότι ο όγκος του μεταλλεύματος με περιεκτικότητα σε νικέλιο μεγαλύτερη από 0,5%, δηλαδή το οικονομικώς εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα, είναι **18.336.375 m³**. Αντίθετα ο όγκος του μεταλλεύματος με περιεκτικότητα σε νικέλιο κάτω από 0,5% συμπεριλαμβανομένων των αγόνων είναι **28.862.195 m³**. (Πίνακας 5.2)

Πίνακας 5.2: Ποσότητες μεταλλεύματος και αγόνων υλικών στο υπό μελέτη κοίτασμα μετά το όριο γεωτρήσεων

Περιεκτικότητα σε Νικέλιο	Όγκος (m ³)	Μέση Περιεκτικότητα Νικελίου
-99,0 → 0,5	28.862.195	-95,96
0,5 → 1,9	18.336.375	0,91
Σύνολο	47.198.570	-58,33

5.3.3 Block Model και «Κρίσιμη» περιεκτικότητα σε θείο

Μία ακόμα παράμετρος που διερευνήθηκε στο κοίτασμα ήταν και το θείο το οποίο βρέθηκε ότι υπάρχει σε αρκετά blocks. Όπως προαναφέρθηκε το θείο στη μεταλλουργική διεργασία παραγωγής σιδηρονικελίου επηρεάζει το κόστος, το οποίο αυξάνεται κατά πολύ όσο αυξάνεται και η περιεκτικότητα του θείου στο μετάλλευμα. Συνεπώς κατά τη φάση του σχεδιασμού γίνεται προσπάθεια αποφυγής του. Από τα δεδομένα του εργοστασίου της ΛΑΡΚΟ που έχουν να κάνουν με το θείο και τη διαχείρισή του, διαπιστώνεται ότι μέγιστο επιτρεπτό όριο περιεκτικότητας σε θείο που θα πρέπει να έχει το φυσικό μετάλλευμα του λατερίτη όταν φτάνει στο εργοστάσιο είναι **0,21%**. Τότε είναι πιο εύκολο να αντιμετωπιστεί και στο τελικό προϊόν η περιεκτικότητα να βρίσκεται κάτω από το όριο του **0,130%** που έχουν θέσει οι πελάτες. Το όριο του **0,21%** περιεκτικότητας σε θείο στο μετάλλευμα του φυσικού λατερίτη προκύπτει από τον πίνακα του έτους 2018 - 2019, σύμφωνα με τους μέσους όρους. Πιο αναλυτικά, αν στο όριο του 0,130% περιεκτικότητας σε θείο στο τελικό προϊόν σιδηρονικελίου πολλαπλασιάσουμε τον μέσο όρο του λόγου μείωσης που είναι 3,14

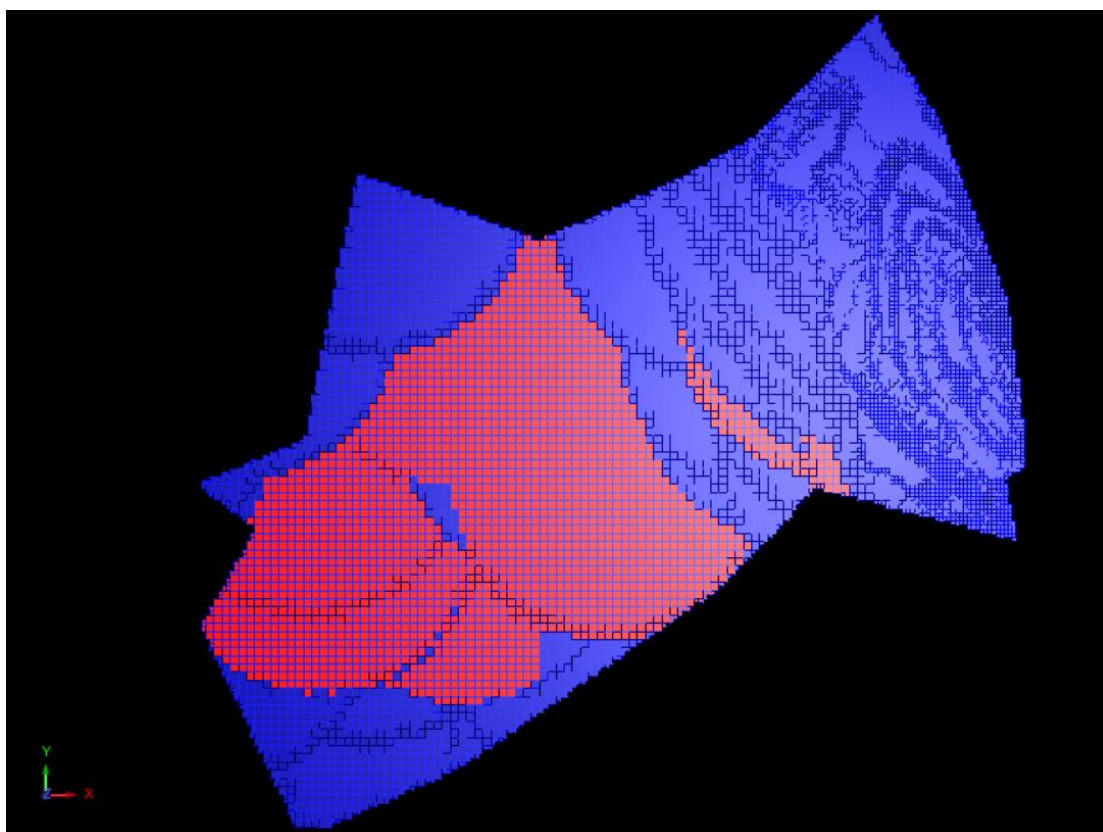
λαμβάνουμε το μέσο όρο σιδηρονικελίου που μπαίνει στους μεταλλάκτες. Στη συνέχεια, υπολογίζουμε ότι σύμφωνα με τους μέσους όρους ο λόγος αύξησης από το φυσικό μέταλλευμα λατερίτη σε αυτό που βγαίνει από τις ηλεκτρικές καμίνους είναι 1,94. Άρα, αν διαιρέσουμε το αποτέλεσμα που είχαμε βρει με το 1,94 παίρνουμε το όριο του 0,21%.

- $0,130\% \cdot 3,14 = 0,41\%$ (περιεκτικότητα σε θείο στο σιδηρονικέλιο που μπαίνει στους μεταλλάκτες)
- $0,372\% / 0,192\% = 1.94$ (λόγος αύξησης μέσα στις ηλεκτρικές καμίνους)
- $0,41\% / 1,94 = 0,21\%$ (μέγιστο όριο περιεκτικότητας σε θείο στο μέταλλευμα φυσικού λατερίτη)

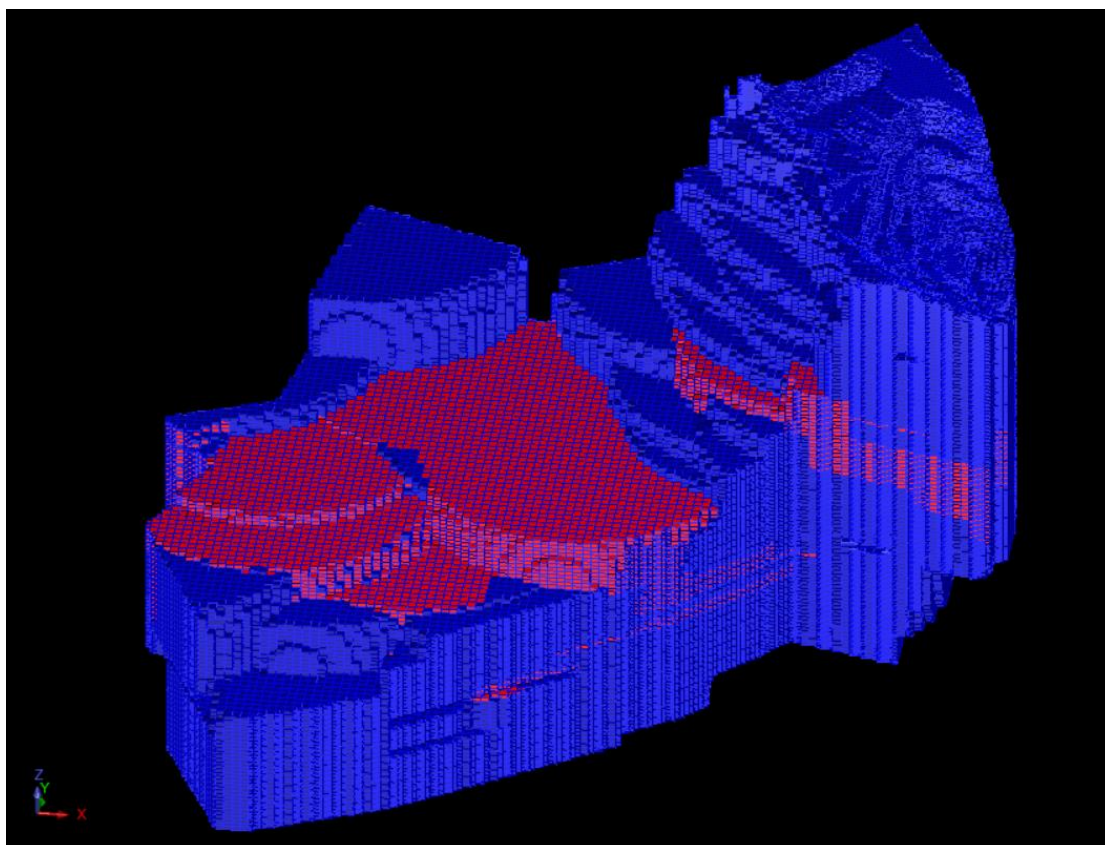
Στο συγκεκριμένο κοίτασμα όμως, περιεκτικότητες σε θείο μεγαλύτερες του 0,21% εντοπίζονται σε μεγάλες φέτες κυρίως στη μέση του κοιτάσματος. Δηλαδή αν εξαιρέσουμε αυτά τα blocks είναι σχεδόν σαν να κόβεται το κοίτασμα στη μέση. Ακόμη αρκετά από αυτά τα blocks που περιέχουν θείο πάνω από το όριο του 0,21%, περιέχουν και νικέλιο σε αρκετά καλές περιεκτικότητες που δύσκολα εντοπίζονται στα υπόλοιπα blocks όλου του κοιτάσματος. Τέλος, και τα blocks του κοιτάσματος που βρίσκονται κάτω από τα συγκεκριμένα blocks με περιεκτικότητα πάνω από 0,21%, εμφανίζουν σε μεγάλο βαθμό καλή περιεκτικότητα σε νικέλιο. Παρακάτω δίνεται η εκτίμηση του όγκου του χρήσιμου συστατικού στο υπό διερεύνηση κοίτασμα (Πίνακας 5.3) χωρίς τα blocks που υπερβαίνουν το όριο του 0,21% σε θείο. Το οικονομικώς εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα είναι **12.388.406 m³**, ενώ ο όγκος του μεταλλεύματος με περιεκτικότητα σε νικέλιο κάτω από 0,5 είναι **28.850.883 m³**.

Πίνακας 5.3: Ποσότητες μεταλλεύματος και αγόνων υλικών στο υπό μελέτη κοιτάσμα μετά το όριο γεωτρήσεων και τον περιορισμό για το θείο

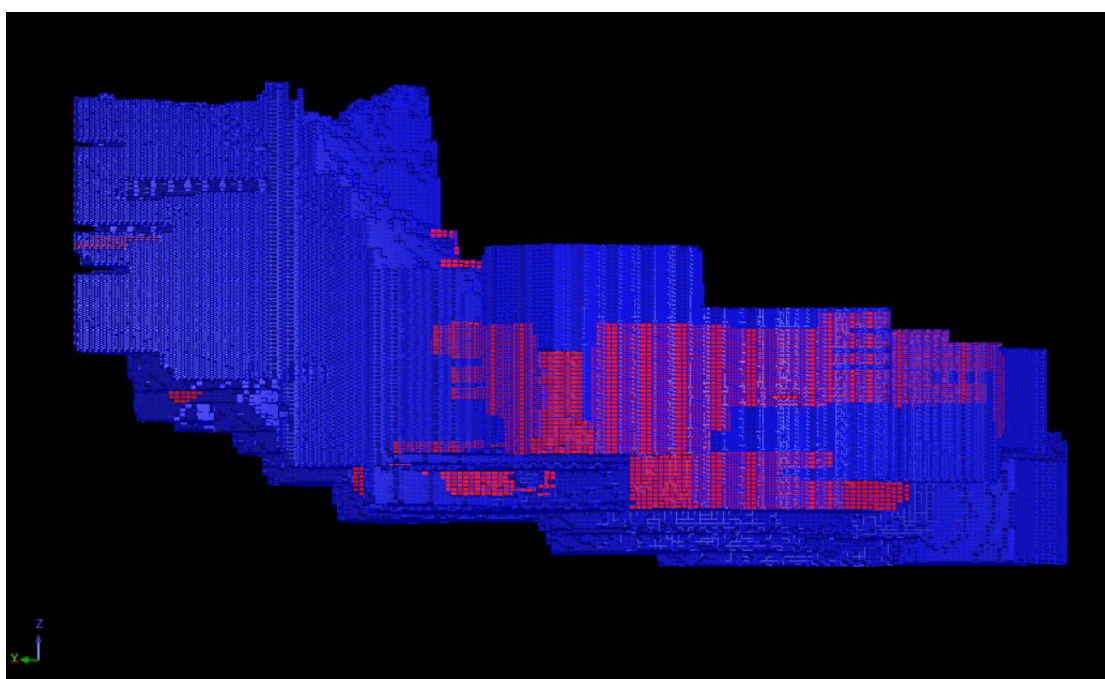
Περιεκτικότητα σε Νικέλιο	Όγκος (m ³)	Μέση Περιεκτικότητα Νικελίου
-99,0 → 0,5	28.850.883	-96,00
0,5 → 1,9	12.388.406	0,92
Σύνολο	41.239.289	-66,88



Εικόνα 5.13: Κάτοψη του κοιτάσματος – με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα blocks με περιεκτικότητα άνω του 0,21%



Εικόνα 5.14: Πλάγια όψη κοιτάσματος - με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα blocks με περιεκτικότητα άνω του 0,21%



Εικόνα 5.15: Δεύτερη πλάγια όψη - με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα blocks με περιεκτικότητα άνω του 0,21%

Παρατηρείται ότι χάνονται **5.947.969** m³ όγκου εκμεταλλεύσιμου οικονομικά κοιτάσματος, νούμερο το οποίο είναι πολύ μεγάλο, σχεδόν το 1/3 του κοιτάσματος. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι η περιοχή του κοιτάσματος με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο δεν μπορεί να εξαιρεθεί από την εκμετάλλευση, καθώς ο όγκος των αποθεμάτων σε μία τέτοια περίπτωση μειώνεται σημαντικά.

Πίνακας 5.4: Όγκος Κοιτάσματος με περιεκτικότητα σε $S > 0.21\%$

Νικέλιο	Όγκος	Μέση Περιεκτικότητα Νικελίου
0.5% → 1.9%	5.947.969	0.89%

Πίνακας 5.5: Κατανομή περιεκτικότητας για το τμήμα του κοιτάσματος με περιεκτικότητα σε $S > 0.21\%$

Διαστήματα Νικελίου με βήμα 0.1	Όγκος	Μέση Περιεκτικότητα Νικελίου
0.5% → 0.6%	45.110	0.56%
0.6% → 0.7%	635.391	0.68%
0.7% → 0.8%	757.000	0.76%
0.8% → 0.9%	1.552.359	0.86%
0.9% → 1.0%	1.919.359	0.95%
1.0% → 1.1%	869.578	1.04%
1.1% → 1.2%	133.875	1.12%
1.2% → 1.3%	35.297	1.21%
1.3% → 1.9%	0	0
Σύνολο	5.947.969	0.89%

Πίνακας 5.6: Μέση περιεκτικότητα σε θείο για το τμήμα του κοιτάσματος με περιεκτικότητα σε $S > 0.21\%$

Θείο	Όγκος	Μέση Περιεκτικότητα Θείου
0.21% → 6.41%	5.947.969	0.651%

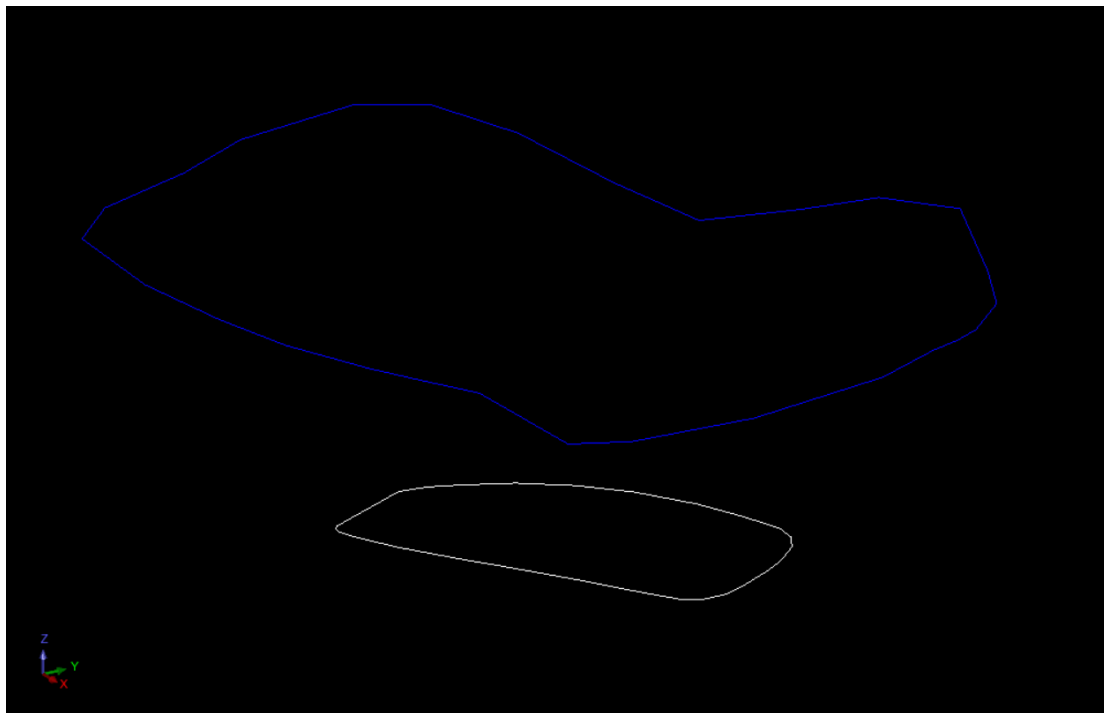
Πίνακας 5.7: Κατανομή περιεκτικότητας θείου για το τμήμα του κοιτάσματος με περιεκτικότητα σε $S > 0.21\%$

Διαστήματα Θείου με βήμα 0.1	Όγκος	Μέση Περιεκτικότητα Θείου
0.21% → 0.31%	631.359	0.258%
0.31% → 0.41%	841.031	0.362%
0.41% → 0.51%	1.252.922	0.466%
0.51% → 0.61%	601.250	0.562%
0.61% → 0.71%	632.469	0.652%
0.71% → 0.81%	406.578	0.764%
0.81% → 0.91%	420.563	0.852%
0.91% → 1.01%	799.516	0.943%
1.01% → 1.11%	34.328	1.077%
1.11% → 1.21%	87.422	1.129%
1.21% → 1.31%	9.563	1.258%
1.31% → 1.41%	10.031	1.361%
1.41% → 1.51%	9.875	1.460%
1.51% → 1.61%	9.297	1.557%
1.61% → 1.71%	6.234	1.658%
1.71% → 1.81%	51.188	1.765%
1.81% → 1.91%	6.375	1.859%
1.91% → 2.01%	30.172	1.977%
2.01% → 2.11%	3.578	2.062%
2.11% → 2.21%	23.516	2.132%
2.21% → 2.31%	37.625	2.248%
2.31% → 2.41%	10.188	2.359%
2.41% → 2.51%	11.563	2.460%
2.51% → 2.61%	5.016	2.555%
2.61% → 2.71%	2.844	2.649%
2.71% → 2.81%	2.031	2.755%
2.81% → 2.91%	1.563	2.859%
2.91% → 3.01%	1.625	2.965%

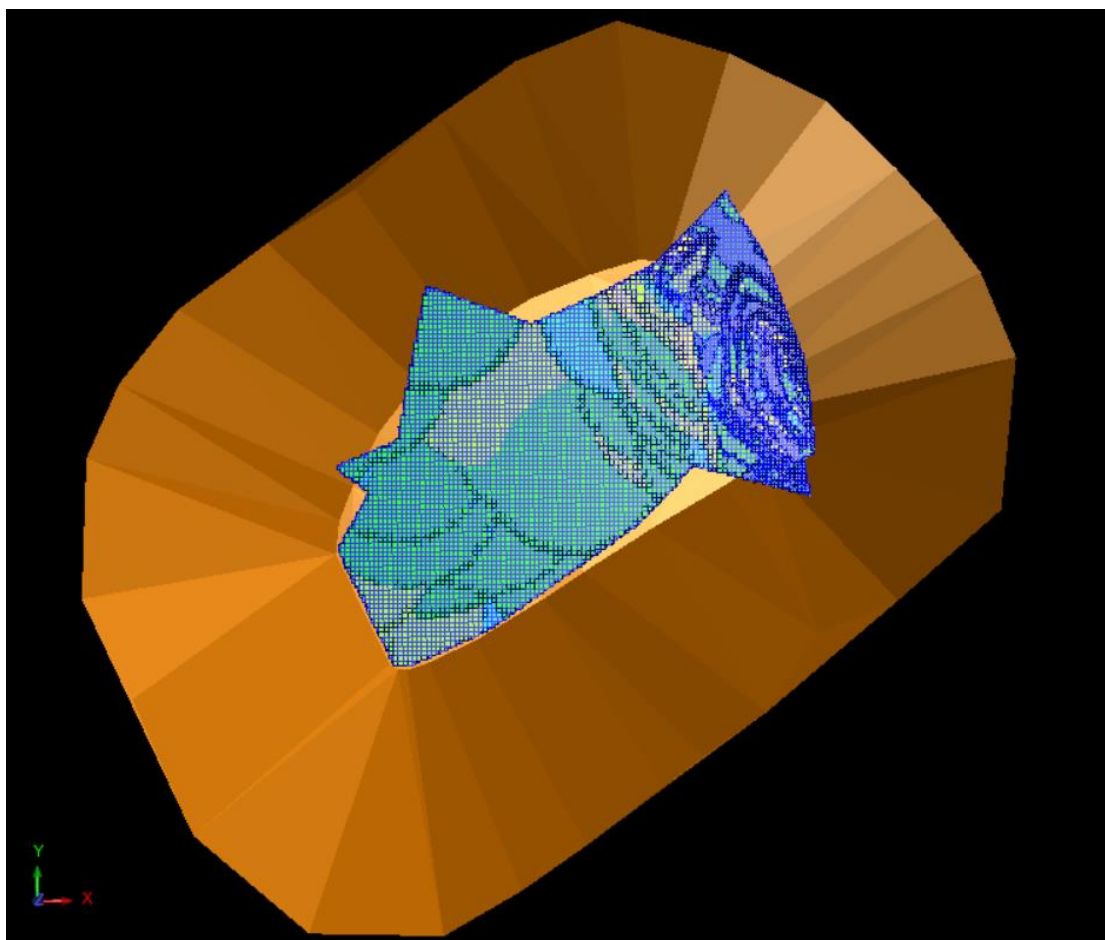
3.01% → 3.11%	1.688	3.060%
3.11% → 3.21%	1.313	3.166%
3.21% → 3.31%	1.313	3.262%
3.31% → 3.41%	1.125	3.373%
3.41% → 3.51%	1.188	3.461%
3.51% → 3.61%	750	3.561%
3.61% → 3.71%	1.063	3.653%
3.71% → 3.81%	563	3.780%
3.81% → 3.91%	563	3.868%
3.91% → 4.01%	438	3.965%
4.01% → 4.11%	438	4.052%
4.11% → 4.21%	313	4.161%
4.21% → 4.31%	625	4.259%
4.31% → 4.41%	188	4.361%
4.41% → 4.51%	438	4.470%
4.51% → 4.61%	125	4.553%
4.61% → 4.71%	250	4.666%
4.71% → 4.81%	125	4.739%
4.81% → 4.91%	438	4.868%
4.91% → 5.01%	125	4.988%
5.01% → 5.11%	250	5.073%
5.11% → 5.21%	63	5.162%
5.21% → 5.31%	0	0%
5.31% → 5.41%	4438	5.378%
5.41% → 5.51%	125	5.426%
5.51% → 5.61%	0	%
5.61% → 5.71%	188	5.658%
5.71% → 5.81%	63	5.792%
5.81% → 6.31%	0	0%
6.31% → 6.41%	63	6.324%
6.41% → ...	0	0%

5.4 Προσδιορισμός ορίου εκσκαφής

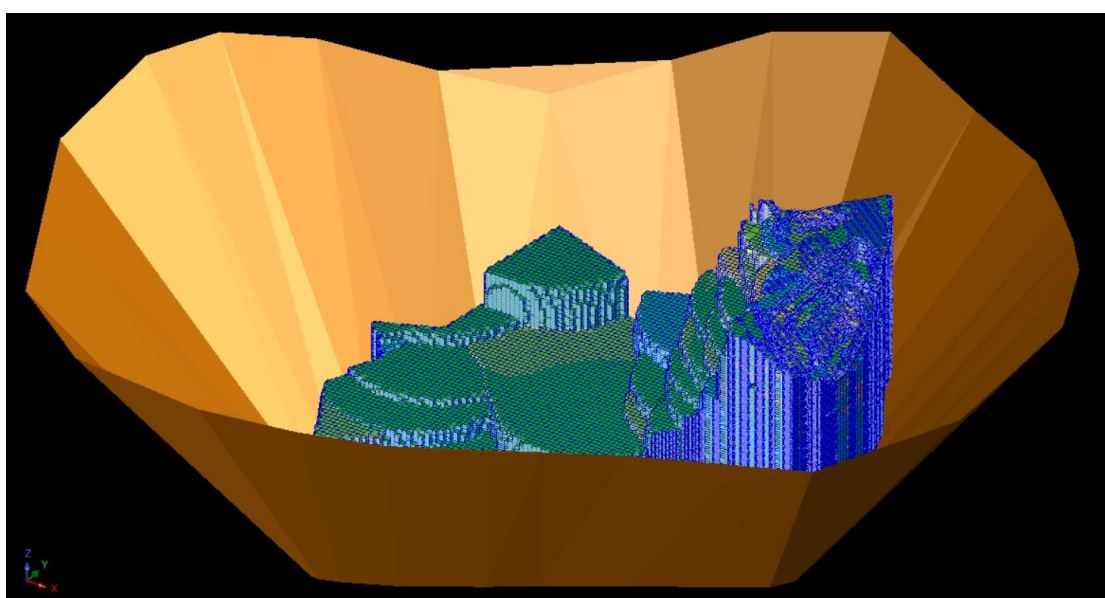
Η οριοθέτηση της συνολικής εκσκαφής είναι μία πολύ σημαντική διαδικασία για το σχεδιασμό μίας υπαίθριας εκμετάλλευσης καθώς, αρχικά επιτρέπει τον υπολογισμό της σχέσης εκμετάλλευσης με την οποία θα εργαστούμε και έπειτα διευκολύνεται η διαδικασία του επερχόμενου σχεδιασμού. Κατά τη δημιουργία του κώνου εκσκαφής επιχειρήθηκε να συμπεριληφθεί όλο το κοιτάσμα μέσα σε αυτόν. Έτσι ξεκινώντας από τον πυθμένα του κοιτάσματος, διαμορφώθηκε το όριο με το οποίο θα υπήρχε η δυνατότητα να γίνει η πλήρης εκμετάλλευση του κοιτάσματος. Ως κατώτερο υψόμετρο εισήχθησαν τα 248 m, όπου είναι το χαμηλότερο υψόμετρο στο οποίο βρέθηκε μετάλλευμα με νικέλιο μεγαλύτερο από 0,5%. Στη συνέχεια ανεβαίνοντας προς τα πάνω με **κλίση 53°** δημιουργήθηκε ο παρακάτω κώνος εκσκαφής. Τέλος, το πάνω όριο ορίστηκε να συμπίπτει με το αρχικό τοπογραφικό ανάγλυφο.



Εικόνα 5.16: Όριο σχεδιασμού – Ανώτερο όριο (μπλε γραμμή) και πυθμένας (λευκή γραμμή)

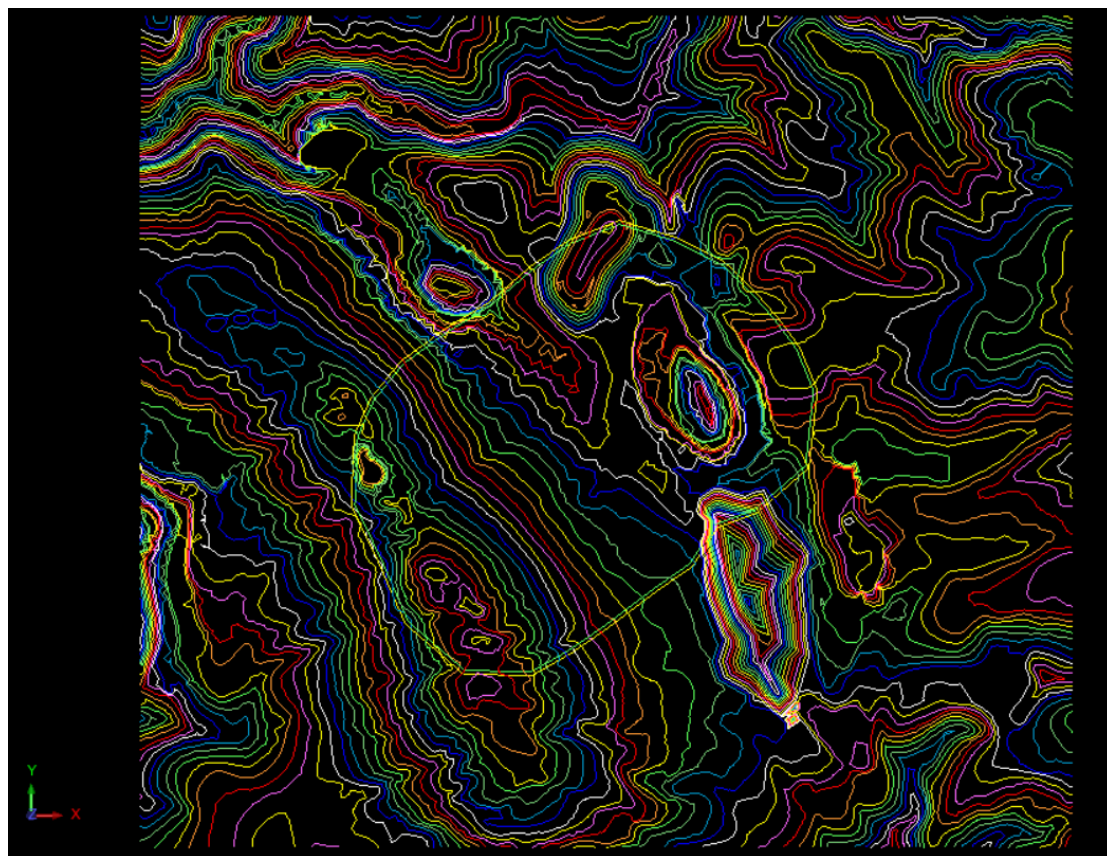


Εικόνα 5.17: Κάτοψη κώνου εκσκαφής και *Block Model*



Εικόνα 5.18: Πλάγια όψη κώνου εκσκαφής και *Block Model*

Αφού προσδιορίστηκε το όριο με βάση τη μέγιστη απόληψη του κοιτάσματος στη συνέχεια διαμορφώθηκε η περιμετρική ζώνη ασφαλείας πλάτους **8 m**.



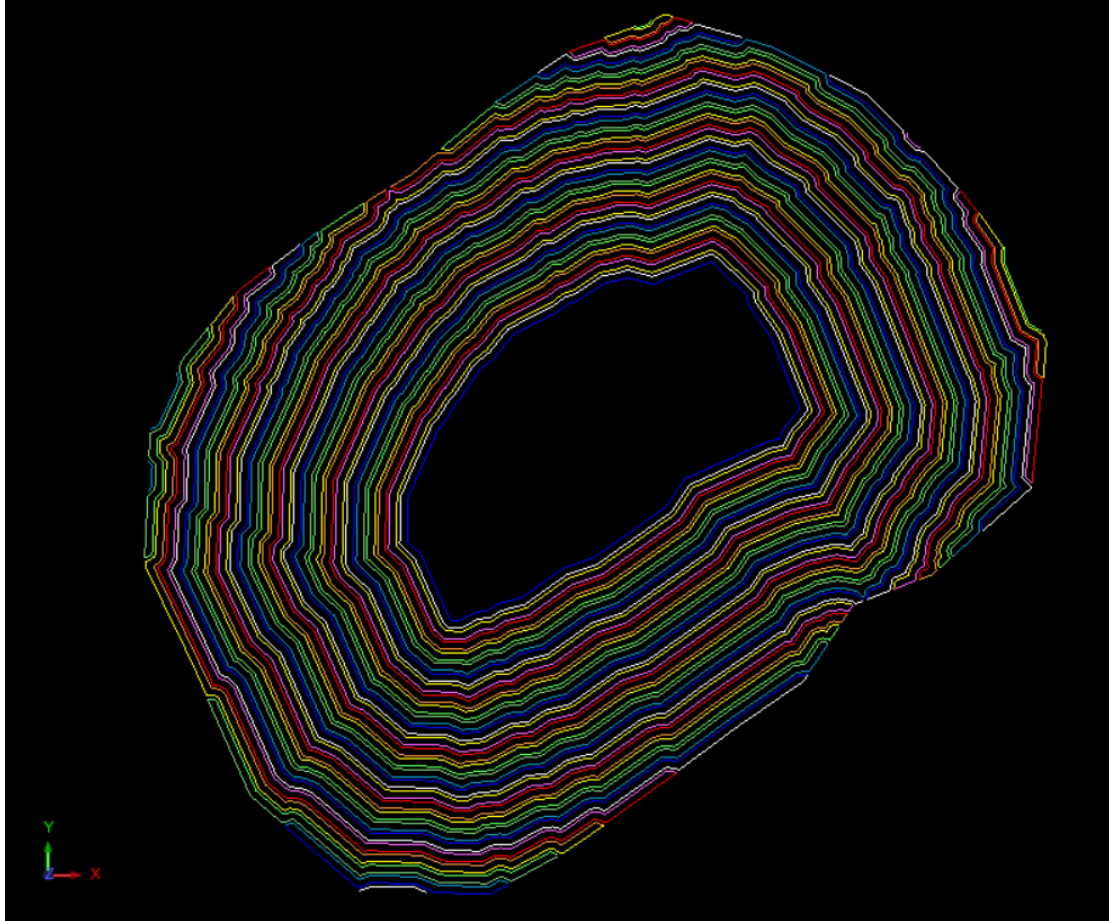
Εικόνα 5.19: Τελικό όριο στο αρχικό τοπογραφικό ανάγλυφο

5.5 Σχεδιασμός της εκμετάλλευσης

Με βάση τη μελέτη της εταιρείας, τις γεωλογικές συνθήκες αλλά και τους περιβαλλοντικούς όρους ο σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε με βαθμίδες **ύψους 15m**, **πλάτους 8m** και **κλίσης μετώπου 76°**. Γενικά, σε εκμεταλλεύσεις που αναπτύσσονται στις πλαγιές ορεινών όγκων, όπως σε αυτήν την περίπτωση (κοίτασμα Ρεκαβέτσι), επιλέγεται ο σχεδιασμός να ξεκινάει από το υψηλότερο σημείο της εκμετάλλευσης κι έπειτα να κινείται προς τα χαμηλότερα σημεία, όπως ορίζει και η νομοθεσία (η νομοθεσία επιβάλλει τη διαμόρφωση βαθμίδων από τα υψηλότερα επίπεδα προς τα χαμηλότερα).

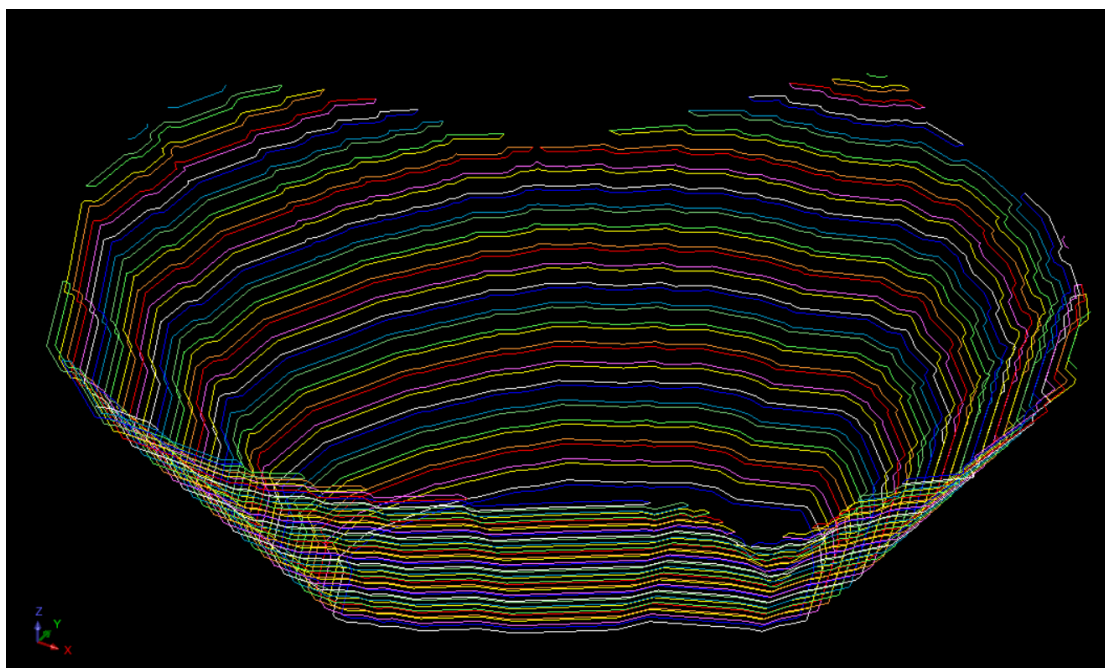
Το μεγαλύτερο υψόμετρο εντός της περιοχής εκμετάλλευσης εντοπίζεται στο νοτιοδυτικό όριο του χώρου και συγκεκριμένα στο υψόμετρο των 625m. Συνεπώς, η διαμόρφωση των βαθμίδων ξεκίνησε από αυτό το σημείο, κατεβαίνοντας προς τα κάτω.

Στη συνέχεια, η προηγούμενη ενέργεια έγινε κι άλλες φορές ξεκινώντας από τα επομένως ψηλότερα σημεία και συγκεκριμένα βορειοδυτικά στο υψόμετρο των 610m και έπειτα βόρεια κι ανατολικά στο υψόμετρο των 585m αντίστοιχα. Έπειτα οι βαθμίδες σιγά σιγά ενώθηκαν δημιουργώντας μια κλειστή εκσκαφή μέχρι το υψόμετρο των 248m, -στο όριο του πυθμένα.

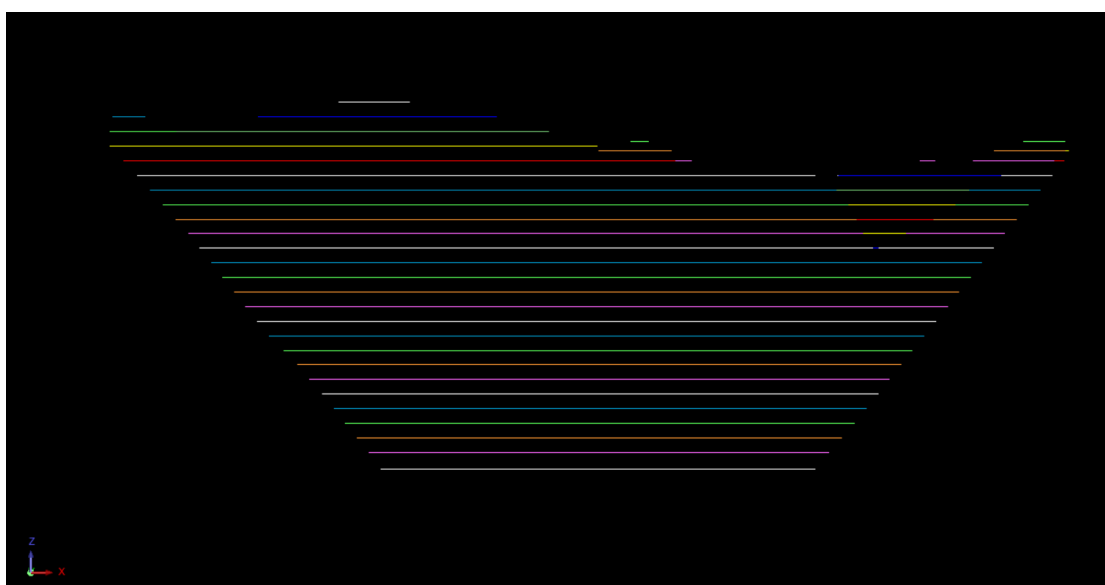


Εικόνα 5.20: Τελικός σχεδιασμός εκμετάλλευσης

Αξίζει να σημειωθεί ότι στα δύο σημεία όπου το υψόμετρο των ισοϋψών ξεκινούσε από τα 585m οι δύο επόμενες βαθμίδες σχεδιάστηκαν στα 10m ύψος ώστε να ενωθούν αργότερα με τις υπόλοιπες βαθμίδες στο υψόμετρο των 565m. Επίσης, η κατώτερη βαθμίδα σχεδιάστηκε στα 17m ώστε να συμπίπτει με το όριο του πυθμένα.

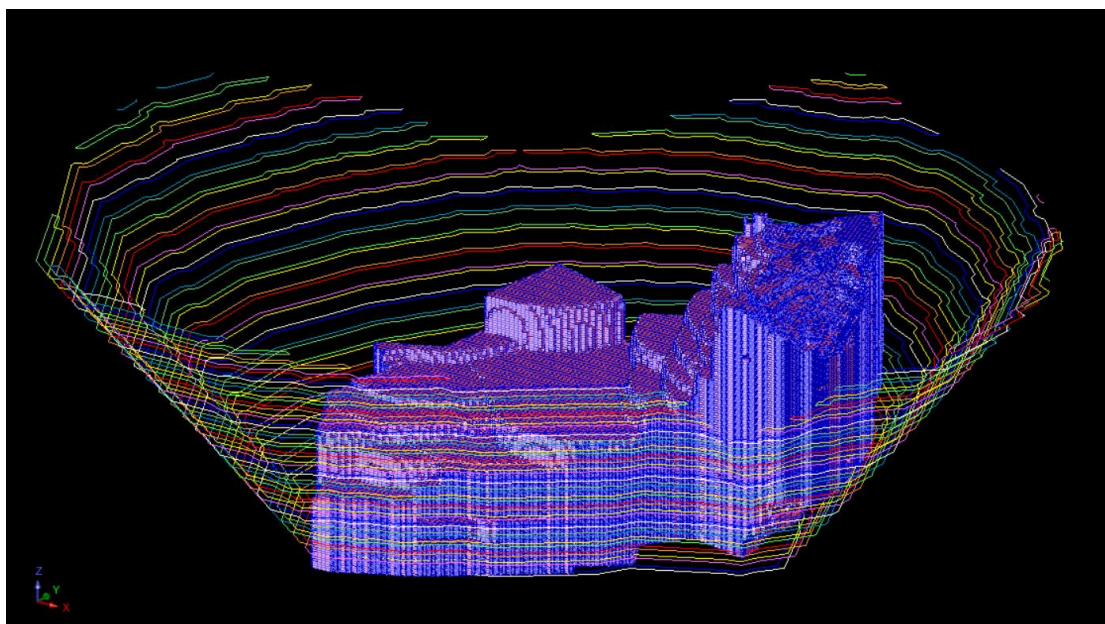


Εικόνα 5.21: Άποψη της τελικής μορφής της εκμετάλλευσης



Εικόνα 5.22: Πλάγια όψη σχεδιασμού βαθμίδων

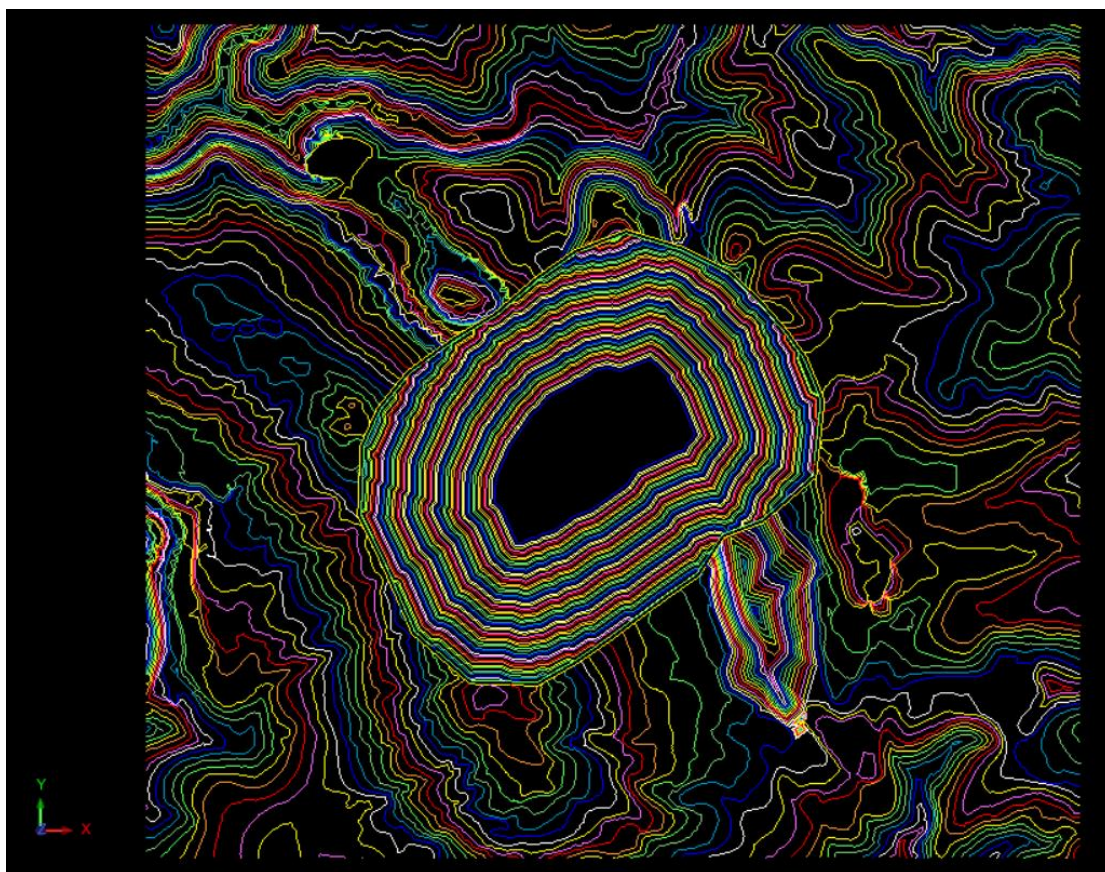
Συνολικά σχηματίστηκαν **25 βαθμίδες** των **15m** νοτιοδυτικά, **24 βαθμίδες** των **15m** βορειοδυτικά και **21 βαθμίδες** των **15m** και **2 βαθμίδες** των **10m** βορειοδυτικά και νοτιοδυτικά του κοιτάσματος. Η **κατώτερη βαθμίδα** σχεδιάστηκε κοινή στα **17m**. Οι βαθμίδες αυτές κλείνοντας δημιουργήσαν μία χοανοειδή εκσκαφή, ξεκινώντας από το υψόμετρο των **625m** και φτάνοντας μέχρι το όριο του πυθμένα στα **248m**, δηλαδή υπάρχει μια υψομετρική διαφορά **377m**.



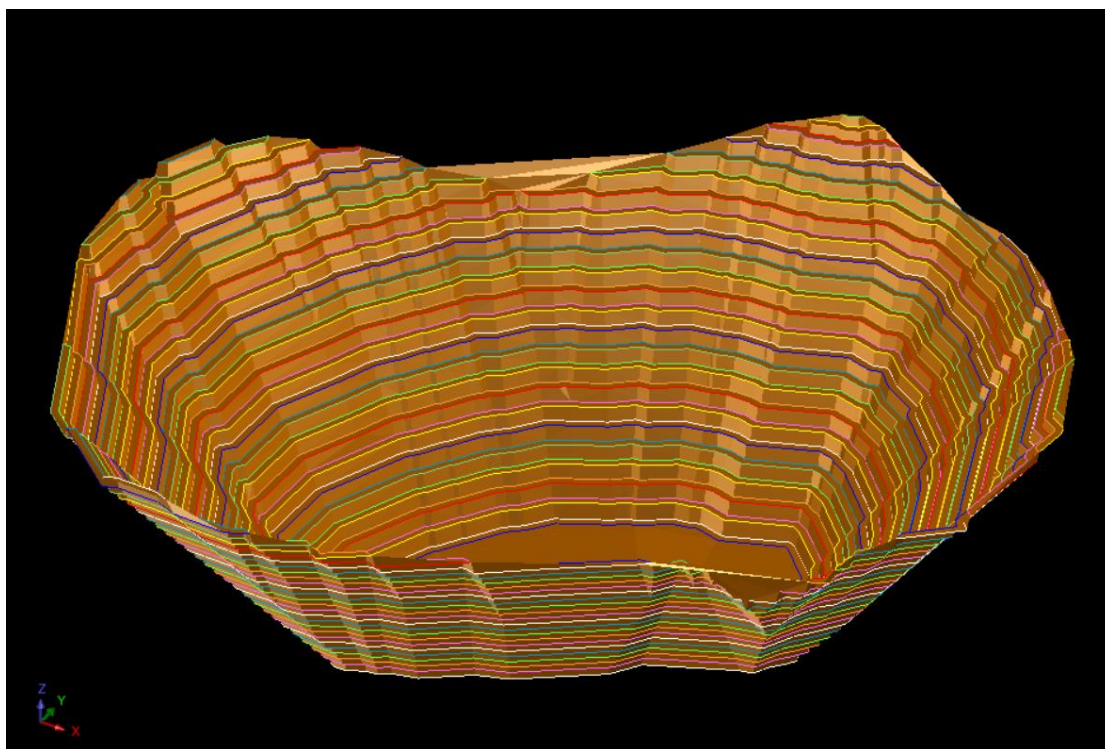
Εικόνα 5.23: Ο συνολικός σχεδιασμός των βαθμίδων και το *Block Model* του κοιτάσματος

5.6 Υπολογισμός Όγκου Εκσκαφών

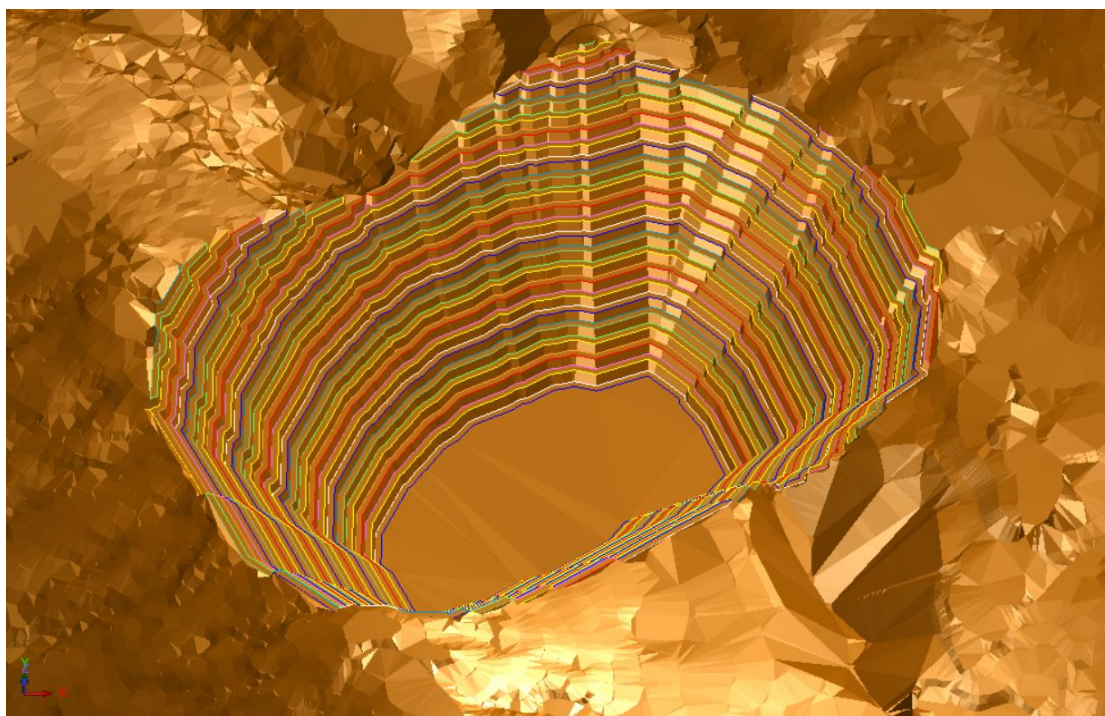
Σε αυτή την ενότητα γίνεται ο υπολογισμός των όγκων εκσκαφών με βάση την προτεινόμενη τελική μορφή της εκμετάλλευσης και εκτιμώνται εκ νέου οι όγκοι αγόνων και χρήσιμου συστατικού. Για το σκοπό αυτό το αρχικό ανάγλυφο ενώθηκε με το ανάγλυφο της εκμετάλλευσης, ώστε να δούμε πως αυτό έχει επηρεαστεί από τη διαμόρφωση των βαθμίδων. Με βάση τα δύο ψηφιακά αρχεία, του αρχικού αναγλύφου και του τελικού ενιαίου αναγλύφου με το σχεδιασμό, υπολογίστηκε ο όγκος των εξορυσσόμενων υλικών από το μεταλλείο.



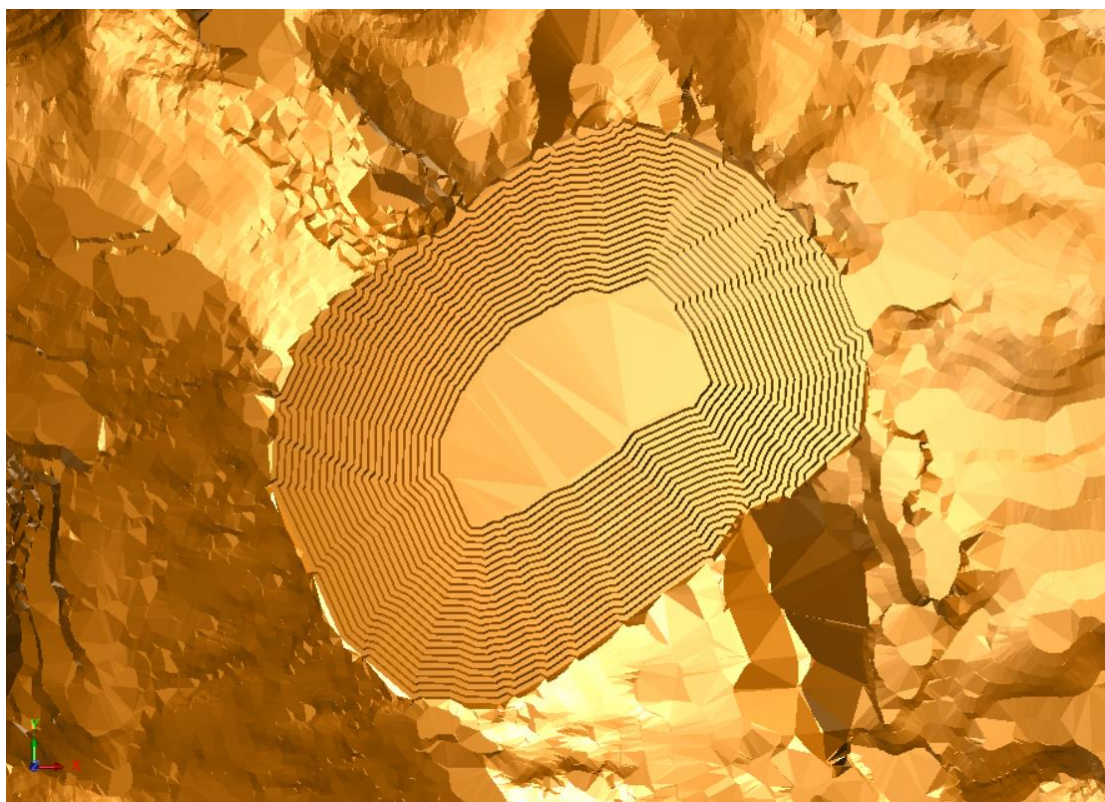
Εικόνα 5.24: Διαμόρφωση ενιαίου αρχείου ισοϋψών και σχεδιασμού



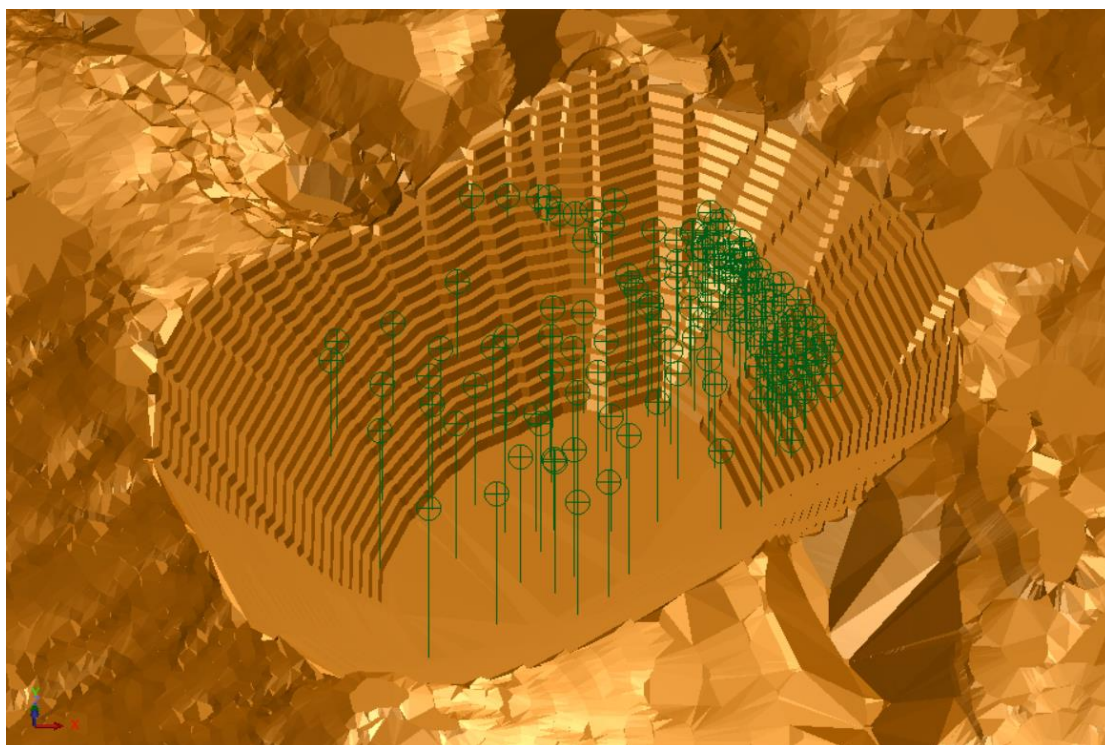
Εικόνα 5.25: Διαμόρφωση Ψηφιακού Μοντέλου της εκσκαφής



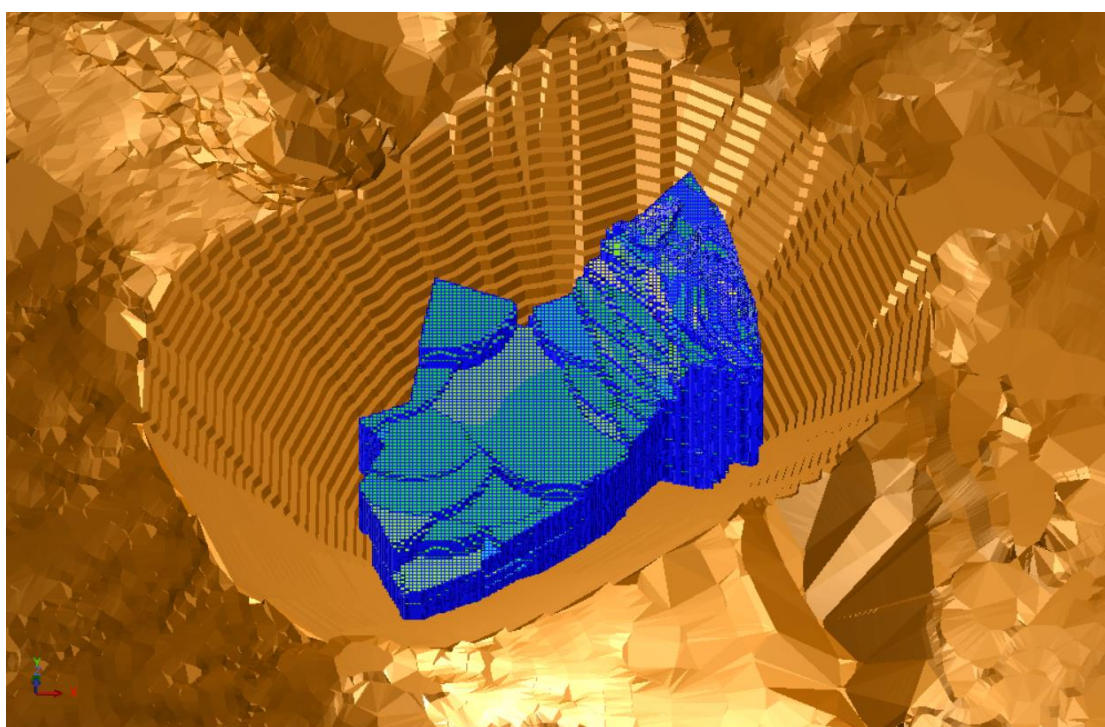
Εικόνα 5.26: Σκάφη σχεδιασμού και τοπογραφικό ανάγλυφο



Εικόνα 5.27: Κάτοψη ενιαίου ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου και σκάφης σχεδιασμού



Εικόνα 5.28: Τελικό ψηφιακό μοντέλο και γεωτρήσεις



Εικόνα 5.29: Τελικό ψηφιακό μοντέλο και *Block Model*

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ογκομέτρησης ο όγκος των εκσκαφών στο κοίτασμα στην περιοχή Ρεκαβέτσι εκτιμάται σε **101.390.108 m³**. Από αυτά σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Block Model ο όγκος του κοιτάσματος υπολογίστηκε στα **18.336.375 m³** ενώ ο όγκος αγόνων υπολογίστηκε στα **83.053.733 m³**.

Κεφάλαιο 6. Εκτιμήσεις Κόστους, Εσόδων και Κερδών

Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιούνται κάποιες εκτιμήσεις κόστους και κερδών όσον αφορά το κοίτασμα, σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση θεωρούμε ότι το κομμάτι που περιέχει θείο πάνω από το όριο του 0,21% απορρίπτεται ως στείρο, ενώ στη δεύτερη αντιμετωπίζεται κανονικά ως εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα.

6.1 Κόστος Εκμετάλλευσης

6.1.1 Πρώτη Περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται άγονα)

Σε αυτήν την περίπτωση θεωρούμε ότι το κοίτασμα το οποίο περιέχει νικέλιο ($Ni \geq 0,5\%$) και θείο ($S > 0,21\%$) δεν θα πρέπει να ληφθεί ως οικονομικά εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα και θα πρέπει να απορριφθεί σαν στείρο υλικό. Ο όγκος αυτός υπολογίζεται στα **5.947.969 m³** και η μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο για το συγκεκριμένο όγκο είναι **0.89%**. Επίσης, ο όγκος των εκσκαφών είναι **101.390.108 m³** κι ο όγκος του κοιτάσματος υπολογίζεται σε **12.388.406 m³** κι έχει μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο **0,92%**.

Για τον υπολογισμό του κόστους της υπαίθριας εκμετάλλευσης, θα χρησιμοποιηθεί ένα ενδεικτικό κοστολόγιο της εταιρείας ΛΑΡΚΟ με βάση το οποίο το κόστος για αποκάλυψη είναι 2,20 €/m³ και το κόστος εξόρυξης μεταλλεύματος είναι **1,10 €/ton**. Τέλος, το ειδικό βάρος του ασβεστόλιθου που χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς είναι **2,75 g/cm³** ενώ το ειδικό βάρος του λατεριτικού πετρώματος είναι **3,3 g/cm³**.

Χαρακτηριστικά εκμετάλλευσης

- Όγκος εκσκαφών: **101.390.108 m³**

- Όγκος κοιτάσματος: **12.388.406 m³**

- Όγκος αγόνων: $101.390.108 \text{ m}^3 - 12.388.406 \text{ m}^3 = \mathbf{89.001.702 \text{ m}^3}$

- Τόνοι αγόνων: $89.001.702 \text{ m}^3 * 2,75 \text{ ton/m}^3 = \mathbf{244.754.681 \text{ ton}}$

- Τόνοι εξορυσσόμενου μεταλλεύματος = $12.388.406 \text{ m}^3 * 3,3 \text{ ton/m}^3 = \mathbf{40.881.740 \text{ ton}}$

Η σχέση εκμετάλλευσης ορίζεται ως το πηλίκο των αγόνων (σε m^3 ή ton) προς το χρήσιμο συστατικό (σε ton). Γι' αυτό το λόγο μπορούμε να βγάλουμε δύο διαφορετικές σχέσεις εκμετάλλευσης:

$$\text{Σχέση Εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγονα (m}^3\text{)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (ton)}} = \frac{89.001.702 \text{ m}^3}{40.881.740 \text{ ton}} = \mathbf{2,18 \text{ m}^3/\text{ton}}$$

$$\text{Σχέση Εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγονα (ton)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (ton)}} = \frac{244.754.681}{40.881.740} = \mathbf{5,99 \text{ ton/ton}}$$

Κόστος υπαίθριας εκμετάλλευσης

- Κόστος αποκάλυψης: $89.001.702 \text{ m}^3 * 2,20 \text{ €/m}^3 = \mathbf{195.803.744,40 \text{ €}}$

- Κόστος Εξόρυξης Μεταλλεύματος = $40.881.740 \text{ ton} * 1,10 \text{ €/ton} = \mathbf{44.969.913,78\text{€}}$

- Συνολικό Κόστος : $195.803.744,40 \text{ €} + 44.969.913,78 \text{ €} = \mathbf{240.773.658,18 \text{ €}}$

- Τελικό Συνολικό Κόστος* : $240.773.658,18 \text{ €} * 1,1 = \mathbf{264.851.024,00 \text{ €}}$

*σημειώνεται ότι στο συνολικό κόστος συνυπολογίζεται 10% του κόστους αποκάλυψης για απρόβλεπτα έξοδα

Επεξεργασία στο Εργοστάσιο

Θεωρούμε ότι το κόστος επεξεργασίας στο εργοστάσιο είναι σταθερό και για τις δύο περιπτώσεις που εξετάζουμε. Το κόστος αυτό έχει να κάνει με την κατανάλωση στερεών καυσίμων, δηλαδή λιγνίτη και άλλων γαιανθράκων στο μεταλλουργικό μίγμα για θέρμανση στις περιστροφικές καμίνους, αλλά και με την κατανάλωση του ρεύματος συνολικά στο εργοστάσιο. Ακόμη στο συνολικό κόστος εντάσσονται τα μεταφορικά και τα εργατικά κόστη.

Η μέση περιεκτικότητα όλου του κοιτάσματος είναι 0,92% συνεπώς έχουμε:

- Τόνοι με βάση την μέση περιεκτικότητα = $40.881.740 \text{ ton} * 0,0092 = 376.112 \text{ ton}$

Ο **βαθμός ανάκτησης** του νικελίου στο πυρομεταλλουργικό εργοστάσιο της ΛΑΡΚΟ ορίζεται ως εξής:

(Βάρος περιεχόμενου νικελίου στο μίγμα του τροφοδοτηθέντος φυσικού λατερίτη / Βάρος περιεχόμενου νικελίου στο τελικό προς πώληση σιδηρονικέλιο) * 100

Ο λόγος αυτός έχει διακυμάνσεις από έτος σε έτος αλλά ο μέσος όρος των τελευταίων 20 ετών είναι περίπου **82,5%**.

Οι απώλειες καταλογίζονται κατά προσέγγιση ως εξής:

1. Στην απορριπτόμενη λάσπη εκτός εργοστασίου επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αφομοίωσης 100% προς παραγωγή pelles τα οποία ανακυκλώνονται (η λάσπη αυτή δημιουργείται κατά τον καθαρισμό των καπναερίων των περιστροφικών καμίνων Νο 1,2 & 3 στους πύργους πλύσης αυτών). Απώλεια νικελίου περίπου 2,5%.
2. Απώλεια νικελίου στην σκωρία των ηλεκτρικών καμίνων και στα καπναέρια αυτών, περίπου 13%.
3. Απώλεια νικελίου στην προς πώληση σκωρία μεταλλακτών (μετά το μαγνητικό διαχωρισμό), περίπου 2%. (εργοστάσιο ΛΑΡΚΟ)

Έτσι οι **τελικοί τόνοι νικελίου μετά την ανάκτηση** στο εργοστάσιο είναι:

$376.112 \text{ ton} * 0,825 = 310.292 \text{ ton}$

6.1.2 Δεύτερη Περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα – Επιπλέον επεξεργασία στο εργοστάσιο)

Σε αυτήν την περίπτωση θεωρούμε ότι το κοίτασμα το οποίο περιέχει νικέλιο ($Ni \geq 0,5\%$) και θείο ($S > 0,21\%$) θα πρέπει να ληφθεί ως οικονομικά εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα και να οδηγηθεί στο εργοστάσιο για επεξεργασία. Ο όγκος είναι ίδιος με

αυτόν της πρώτης περίπτωσης και υπολογίζεται στα **5.947.969 m³** και η μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο για το συγκεκριμένο όγκο είναι **0.89%**. Επίσης, ο όγκος των εκσκαφών είναι ο ίδιος **101.390.108 m³** κι ο όγκος του κοιτάσματος υπολογίζεται σε **18.336.375 m³** έχοντας μέση περιεκτικότητα σε νικέλιο **0,91%**. Και σε αυτήν την περίπτωση όπως και στην πρώτη χρησιμοποιείται το ίδιο κοστολόγιο της εταιρείας.

Χαρακτηριστικά εκμετάλλευσης

- Όγκος εκσκαφών: **101.390.108 m³**
- Όγκος κοιτάσματος: **18.336.375 m³**
- Όγκος αγόνων: $101.390.108 \text{ m}^3 - 18.336.375 \text{ m}^3 = \mathbf{83.053.733 \text{ m}^3}$
- Τόνοι αγόνων: $83.053.733 \text{ m}^3 * 2,75 \text{ ton/m}^3 = \mathbf{228.397.766 \text{ ton}}$
- Τόνοι εξορυσσόμενου μεταλλεύματος = $18.336.375 \text{ m}^3 * 3,3 \text{ ton/m}^3 = \mathbf{60.510.038 \text{ ton}}$

Οι δύο διαφορετικές σχέσεις εκμετάλλευσης είναι:

$$\text{Σχέση Εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγωνα (m}^3\text{)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (ton)}} = \frac{83.053.733 \text{ m}^3}{60.510.038 \text{ ton}} = \mathbf{1,37 \text{ m}^3/\text{ton}}$$

$$\text{Σχέση Εκμετάλλευσης} = \frac{\text{Άγωνα (ton)}}{\text{Χρήσιμο συστατικό (ton)}} = \frac{228.397.766}{60.510.038} = \mathbf{3,77 \text{ ton/ton}}$$

Κόστος υπαίθριας εκμετάλλευσης

- Κόστος αποκάλυψης: $83.053.733 \text{ m}^3 * 2,20 \text{ €/m}^3 = \mathbf{182.718.212,60 \text{ €}}$
- Κόστος Εξόρυξης Μεταλλεύματος = $60.510.038 \text{ ton} * 1,10 \text{ €/ton} = \mathbf{66.561.041,25\text{€}}$
- Συνολικό Κόστος : $182.718.212,60 \text{ €} + 66.561.041,25 \text{ €} = \mathbf{249.279.253,85 \text{ €}}$
- Τελικό Συνολικό Κόστος* : $249.279.253,85 \text{ €} * 1,1 = \mathbf{274.207.179,24 \text{ €}}$

*σημειώνεται ότι στο συνολικό κόστος συνυπολογίζεται 10% του κόστους αποκάλυψης για απρόβλεπτα έξοδα

Επεξεργασία στο Εργοστάσιο – Επιπλέον Κόστος

Το κόστος επεξεργασίας στο εργοστάσιο όπως αναφέρθηκε και στη πρώτη περίπτωση θεωρείται σταθερό. Όμως σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει ένα επιπλέον κόστος που έχει να κάνει με την αγορά ακριβότερων συλλιπασμάτων ώστε να γίνει η όσο το δυνατόν καλύτερη αποθείωση στους μεταλλάκτες. Η εταιρεία αγοράζει δύο ειδών συλλιπάσματα:

- i. οξείδιο του ασβεστίου (CaO) που κοστίζει γύρω στα 60 €/ton
- ii. ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), δηλαδή ασβεστόλιθο που κοστίζει γύρω στα 10€/ton

Η ποσότητα του συλλιπάσματος φυσικά παίζει κι αυτή το ρόλο της στο κόστος επεξεργασίας. Η ΛΑΡΚΟ χρησιμοποιεί κατά μέσο όρο 100 kg οξείδιο του ασβεστίου (CaO) ανά 1 ton νικελίου. Αντίστοιχα, για το φθηνό συλλίπασμα χρησιμοποιεί κατά μέσο όρο 300 kg ασβεστόλιθο ανά 1 ton νικελίου. Θεωρούμε ότι για το κοίτασμα μας, η εταιρεία θα χρησιμοποιήσει ως συλλίπασμα το οξείδιο του ασβεστίου, καθώς η περιεκτικότητα του θείου είναι αρκετά αυξημένη (0.266%).

Αυτό το επιπλέον κόστος από την χρήση του συλλιπάσματος στους μεταλλάκτες θα είναι:

- Τόνοι εξορυσσόμενου μεταλλεύματος (με $S > 0,21$) = $5.947.969 \text{ m}^3 * 3,3 \text{ ton/m}^3 = 19.628.298 \text{ ton}$

- Τόνοι με βάση την μέση περιεκτικότητα = $19.628.298 \text{ ton} * 0,0089 = 174.692 \text{ ton}$

- Τελικοί τόνοι μετά την ανάκτηση = $174.692 \text{ ton} * 0,825 = 144.121 \text{ ton}$

- Τόνοι νικελίου = 100 kg οξείδιο του ασβεστίου \rightarrow 1 ton νικελίου

$x \text{ kg οξείδιο του ασβεστίου} \rightarrow 144.121 \text{ ton νικελίου}$

$x = 14.120.800 \text{ kg οξείδιο του ασβεστίου ή } 14.412,08 \text{ ton οξείδιο του ασβεστίου}$

- Κόστος συλλιπάσματος = $14.412,08 \text{ ton} * 60 \text{ €/ton} = 864.724,66 \text{ €}$

Άρα το τελικό συνολικό κόστος υπολογίζεται αν προσθέσουμε το κόστος της υπαίθριας εκμετάλλευσης και το επιπλέον κόστος επεξεργασίας του μεταλλεύματος στο εργοστάσιο κι είναι:

$$\text{- Τελικό Συνολικό Κόστος} = 274.207.179,24 \text{ €} + 864.724,66 \text{ €} = \mathbf{275.071.903,89 \text{ €}}$$

Η μέση περιεκτικότητα όλου του κοιτάσματος είναι 0,91% συνεπώς έχουμε:

$$\text{- Τόνοι με βάση την μέση περιεκτικότητα} = 60.510.038 \text{ ton} * 0,0091 = \mathbf{550.641 \text{ ton}}$$

$$\text{- Τελικοί τόνοι νικελίου μετά την ανάκτηση} = 550.641 \text{ ton} * 0,825 = \mathbf{454.279 \text{ ton}}$$

6.2 Έσοδα και Κέρδη

Τα έσοδα της εταιρείας προέρχονται από την πώληση του νικελίου. Η σημερινή τιμή κυμαίνεται περίπου στις 10.500 € ανά τόνο νικελίου. Στην ενότητα αυτή θα υπολογιστούν τα έσοδα της εταιρείας σύμφωνα με τη σημερινή τιμή αλλά κι ένα μεγαλύτερο εύρος τιμών, από την ιστορική υψηλή των 18.000 € ανά τόνο, έως την χαμηλότερη των 5.000 € ανά τόνο. Επιπλέον θα υπολογιστούν τα κέρδη της εταιρείας με το συσχετισμό εσόδων – εξόδων.

6.2.1 Πρώτη Περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται άγονα)

Στην πρώτη περίπτωση, που θεωρούμε ότι το κομμάτι του κοιτάσματος που περιέχει θείο $S > 0,21\%$ θα πρέπει να απορριφθεί ως στείρο υλικό, η παραγωγή νικελίου στο εργοστάσιο είναι:

$$\text{- Τελικοί τόνοι για πώληση} = 310.292 \text{ ton}$$

Έσοδα πωλήσεων:

1. Για την τιμή των 5.000 € τα έσοδα είναι: $310.292 \text{ ton} * 5.000 \text{ €/ton} = \mathbf{1.551.462.025,41 \text{ €}}$
2. Για την τιμή των 10.417 € τα έσοδα είναι: $310.292 \text{ ton} * 10.417 \text{ €/ton} = \mathbf{3.232.315.983,74 \text{ €}}$

3. Για την τιμή των 15.000 € τα έσοδα είναι: $310.292 \text{ ton} * 15.000 \text{ €/ton} =$
4.654.386.076,23 €
4. Για την τιμή των 18.000 € τα έσοδα είναι: $310.292 \text{ ton} * 18.000 \text{ €/ton} =$
5.585.263.291,48 €

Κέρδη:

1. Για την τιμή των 5.000 € τα κέρδη είναι: $1.551.462.025,41 \text{ €} - 264.851.024,00 \text{ €} =$
1.286.611.001,41 €
2. Για την τιμή των 10.417 € τα έσοδα είναι: $3.232.315.983,74 \text{ €} - 264.851.024,00 \text{ €} =$
2.967.464.959,74 €
3. Για την τιμή των 15.000 € τα έσοδα είναι: $4.654.386.076,23 \text{ €} - 264.851.024,00 \text{ €} =$
4.389.535.052,23 €
4. Για την τιμή των 18.000 € τα έσοδα είναι: $5.585.263.291,48 \text{ €} - 264.851.024,00 \text{ €} =$
5.320.412.267,48 €

6.2.2 Δεύτερη Περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα – Επιπλέον επεξεργασία στο εργοστάσιο)

Στην δεύτερη περίπτωση, που θεωρούμε ότι το κομμάτι του κοιτάσματος που περιέχει θείο $S > 0,21\%$ θα πρέπει να ληφθεί και να επεξεργαστεί περαιτέρω στο εργοστάσιο, η παραγωγή νικελίου είναι:

- Τελικοί τόνοι για πώληση = 454.279 ton

Έσοδα πωλήσεων:

1. Για την τιμή των 5.000 € τα έσοδα είναι: $454.279 \text{ ton} * 5.000 \text{ €/ton} =$
2.271.395.532,66 €
2. Για την τιμή των 10.417 € τα έσοδα είναι: $454.279 \text{ ton} * 10.417 \text{ €/ton} =$
4.732.225.452,74 €

3. Για την τιμή των 15.000 € τα έσοδα είναι: $454.279 \text{ ton} * 15.000 \text{ €/ton} =$
6.814.186.597,97 €
4. Για την τιμή των 18.000 € τα έσοδα είναι: $454.279 \text{ ton} * 18.000 \text{ €/ton} =$
8.177.023.917,56 €

Κέρδη:

1. Για την τιμή των 5.000 € τα κέρδη είναι: $2.271.395.532,66 \text{ €} - 275.071.903,89 \text{ €} =$
1.996.323.628,77 €
2. Για την τιμή των 10.417 € τα έσοδα είναι: $3.783.759.922,09 \text{ €} - 275.071.903,89 \text{ €} =$
4.732.225.452,74 €
3. Για την τιμή των 15.000 € τα έσοδα είναι: $6.814.186.597,97 \text{ €} - 275.071.903,89 \text{ €} =$
6.539.114.694,08 €
4. Για την τιμή των 18.000 € τα έσοδα είναι: $8.177.023.917,56 \text{ €} - 275.071.903,89 \text{ €} =$
7.901.952.013,67 €

6.3 Τρίτη Περίπτωση (Υπόθεση - αν όλο το κοίτασμα είχε $S < 0,21\%$)

Ενδιαφέρον προκαλεί η τρίτη περίπτωση που κάνοντας μια υπόθεση ότι όλο το κοίτασμα έχει περιεκτικότητα σε θείο μικρότερη από 0,21%, υπολογίστηκε η επιβάρυνση που επιφέρει η υψηλή περιεκτικότητα σε θείο και πραγματοποιήθηκε η σύγκριση σε σχέση με τη δεύτερη περίπτωση. Όσον αφορά το κόστη είναι ίδια με της δεύτερης περίπτωσης που υπολογίστηκαν, χωρίς βέβαια να προστεθεί το επιπλέον κόστος με την αγορά μεγαλύτερης ποσότητας κι ακριβότερων συλλυπασμάτων. Συνεπώς το κόστος υπολογίζεται:

- **Κόστος αποκάλυψης:** $83.053.733 \text{ m}^3 * 2,20 \text{ €/m}^3 =$ **182.718.212,60 €**

- **Κόστος Εξόρυξης Μεταλλεύματος** $= 60.510.038 \text{ ton} * 1,10 \text{ €/ton} =$ **66.561.041,25€**

- **Συνολικό Κόστος :** $182.718.212,60 \text{ €} + 66.561.041,25 \text{ €} =$ **249.279.253,85 €**

- **Τελικό Συνολικό Κόστος*** $: 249.279.253,85 \text{ €} * 1,1 =$ **274.207.179,24 €**

*σημειώνεται ότι στο συνολικό κόστος συνυπολογίζεται 10% του κόστους αποκάλυψης για απρόβλεπτα έξοδα

Επιπλέον τα έσοδα είναι τα ίδια με της δεύτερης περίπτωσης καθώς δεν αλλάζει ο αριθμός των τόνων που παράγονται στο εργοστάσιο.

Έσοδα πωλήσεων:

1. Για την τιμή των 5.000 € τα έσοδα είναι: $454.279 \text{ ton} * 5.000 \text{ €/ton} =$
2.271.395.532,66 €
2. Για την τιμή των 10.417 € τα έσοδα είναι: $454.279 \text{ ton} * 10.417 \text{ €/ton} =$
4.732.225.452,74 €
3. Για την τιμή των 15.000 € τα έσοδα είναι: $454.279 \text{ ton} * 15.000 \text{ €/ton} =$
6.814.186.597,97 €
4. Για την τιμή των 18.000 € τα έσοδα είναι: $454.279 \text{ ton} * 18.000 \text{ €/ton} =$
8.177.023.917,56 €

Αυτό που αλλάζει στην τρίτη περίπτωση σε σχέση με την δεύτερη είναι τα κέρδη της εταιρείας.

Κέρδη:

1. Για την τιμή των 5.000 € τα κέρδη είναι: $2.271.395.532,66 \text{ €} - 275.071.903,89 \text{ €} =$
1.997.188.353,42 €
2. Για την τιμή των 10.417 € τα έσοδα είναι: $3.783.759.922,09 \text{ €} - 275.071.903,89 \text{ €} =$
4.458.018.273,50 €
3. Για την τιμή των 15.000 € τα έσοδα είναι: $6.814.186.597,97 \text{ €} - 275.071.903,89 \text{ €} =$
6.539.979.418,73 €
4. Για την τιμή των 18.000 € τα έσοδα είναι: $8.177.023.917,56 \text{ €} - 275.071.903,89 \text{ €} =$
7.902.816.738,33 €

Πίνακας 6.1: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών εκμετάλλευσης, εξόδων, εσόδων και κερδών για την πρώτη περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται άγονα)

Χαρακτηριστικά Εκμετάλλευσης	
Όγκος εκσκαφών	101.390.108 m ³
Όγκος κοιτάσματος	12.388.406 m ³
Όγκος αγόνων	89.001.702 m ³
Τόνοι αγόνων	244.754.681 ton
Τόνοι εξορυσσόμενου μεταλλεύματος	40.881.740 ton
Σχέση Εκμετάλλευσης	2,18 m ³ /ton ή 5,99 ton/ton
Τόνοι με βάση την μέση περιεκτικότητα	376.112 ton
Τελικοί τόνοι Ni με βαθμό ανάκτησης 82,5%	310.292 ton
Έξοδα	
Κόστος αποκάλυψης /m	195.803.744,40 €
Κόστος εξόρυξης /ton	44.969.913,78 €
Επιπλέον κόστος επεξεργασίας	-
Συνολικό Κόστος* *σημειώνεται ότι για το έργο συνυπολογίζεται 10% του τελικού ποσού για απρόβλεπτα έξοδα	264.851.024,00 €
Έσοδα	
Για τιμή 5.000 €/ ton νικελίου	1.551.462.025,41 €
Για τιμή 10.4170 €/ ton νικελίου	3.232.315.983,74 €
Για τιμή 15.000 €/ ton νικελίου	4.654.386.076,23 €
Για τιμή 18.000 €/ ton νικελίου	5.585.263.291,48 €
Κέρδη	
Για τιμή 5.000 €/ ton νικελίου	1.286.611.001,41 €
Για τιμή 10.4170 €/ ton νικελίου	2.967.464.959,74 €
Για τιμή 15.000 €/ ton νικελίου	4.389.535.052,23 €
Για τιμή 18.000 €/ ton νικελίου	5.320.412.267,48 €

Πίνακας 6.2 Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών εκμετάλλευσης, εξόδων, εσόδων και κερδών για την δεύτερη περίπτωση (Τα τμήματα του κοιτάσματος με $S > 0,21\%$ θεωρούνται εκμεταλλεύσιμο κοιτάσμα - Επιπλέον επεξεργασία στο εργοστάσιο)

Χαρακτηριστικά Εκμετάλλευσης	
Όγκος εκσκαφών	101.390.108 m ³
Όγκος κοιτάσματος	18.336.375 m ³
Όγκος αγόνων	83.053.733 m ³
Τόνοι αγόνων	228.397.766 ton
Τόνοι εξορυσσόμενου μεταλλεύματος	60.510.038 ton
Σχέση Εκμετάλλευσης	1,37 m ³ /ton ή 3,77 ton/ton
Τόνοι με βάση την μέση περιεκτικότητα	550.641 ton
Τελικοί τόνοι Ni με βαθμό ανάκτησης 82,5%	454.279 ton
Έξοδα	
Κόστος αποκάλυψης /m	182.718.212,60 €
Κόστος εξόρυξης /ton	66.561.041,25 €
Επιπλέον κόστος επεξεργασίας	864.724,66 €
Συνολικό Κόστος* *σημειώνεται ότι για το έργο συνυπολογίζεται 10% του τελικού ποσού για απρόβλεπτα έξοδα	275.071.903,89 €
Έσοδα	
Για τιμή 5.000 €/ ton νικελίου	2.271.395.532,66 €
Για τιμή 10.4170 €/ ton νικελίου	4.732.225.452,74 €
Για τιμή 15.000 €/ ton νικελίου	6.814.186.597,97 €
Για τιμή 18.000 €/ ton νικελίου	8.177.023.917,56 €
Κέρδη	
Για τιμή 5.000 €/ ton νικελίου	1.996.323.628,77 €
Για τιμή 10.4170 €/ ton νικελίου	4.457.153.548,85 €
Για τιμή 15.000 €/ ton νικελίου	6.539.114.694,08 €
Για τιμή 18.000 €/ ton νικελίου	7.901.952.013,67 €

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό εξάγονται τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από όλη την έκταση της εργασίας και βασίζονται κυρίως στις παρατηρήσεις που έγιναν κατά το στάδιο των εκτιμήσεων για τα κόστη, τα έσοδα και τα κέρδη των δύο περιπτώσεων.

Αρχικά, το πρόβλημα που υπήρχε στη εκμετάλλευση αφορούσε το θείο και τις υψηλές περιεκτικότητές του που εμφανίζονται σε μεγάλο μέρος του κοιτάσματος. Η «κρίσιμη» περιεκτικότητα του θείου που δημιουργεί πρόβλημα στη μεταλλουργική επεξεργασία, σύμφωνα με συζητήσεις κι αναλύσεις που έγιναν με ανθρώπους του εργοστασίου αλλά και με βάση τα δεδομένα που μας δόθηκαν, υπολογίστηκε στο **0,21%**.

Με βάση το παραπάνω όριο, εξετάστηκαν από οικονομικής πλευράς δύο εναλλακτικά σενάρια. Πρώτον θεωρήθηκε η περιοχή του κοιτάσματος με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο ως περιοχή αγόνων και δεύτερον ως εκμεταλλεύσιμο κοιτάσμα. Από την εξέταση των δύο εναλλακτικών σεναρίων προέκυψε ότι η περιοχή κοιτάσματος με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο **δεν μπορεί να εξαιρεθεί από την εκμετάλλευση**. Επιπρόσθετα, το συνολικό κόστος είναι μικρότερο στην πρώτη περίπτωση σε σχέση με την δεύτερη, καθώς στην τελευταία προστίθεται το επιπλέον κόστος επεξεργασίας της αποθείωσης. Τελικά όμως, τα κέρδη στην δεύτερη περίπτωση είναι σαφώς πιο αυξημένα σε σχέση με την πρώτη καθώς αυξάνονται τα έσοδα από την πώληση περισσότερων τόνων νικελίου.

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να θεωρήσουμε ως άγονα και να μην λάβουμε ως κοιτάσμα τμήματα του κοιτάσματος με περιεκτικότητα πάνω από το όριο του 0,21%, αλλά και γενικότερα τμήματα που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Υπάρχει φυσικά μια επιπλέον επιβάρυνση στο κόστος επεξεργασίας, που στην συγκεκριμένη περίπτωση υπολογίστηκε στα **864.724,66 €** και αποτελεί μια αύξηση της τάξεως του **4%** στο τελικό συνολικό κόστος σε σχέση με την πρώτη περίπτωση όπου τα θεωρούμε άγονα.

Αν δεν είχαν ληφθεί τα συγκεκριμένα τμήματα του κοιτάσματος θα είχαμε μια απώλεια στα έσοδα των πωλήσεων γύρω στο **46%** που υπολογίζονται ανάλογα με την τιμή πώλησης στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7.1: Απώλειες εσόδων σε περίπτωση που δεν ληφθούν ως εκμεταλλεύσιμο κοιτάσµα τα τμήµατα του κοιτάσµατος µε αυξηµένη περιεκτικότητα σε θείο

Τιμή Πώλησης (σε €)	Απώλειες (σε €)	Ποσοστό Απωλειών
5.000	719.933.507,25	46%
10.417	1.499.909.469,00	46%
15.000	2.159.800.521,74	46%
18.000	2.591.760.626,09	46%

Επιπλέον, αν δεν είχαν ληφθεί τα συγκεκριµένα κοµµάτια του κοιτάσµατος θα είχαµε µια απώλεια στα κέρδη της εταιρείας µεταξύ 49% - 55% που υπολογίζονται ανάλογα µε την τιμή πώλησης στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7.2: Απώλειες κερδών σε περίπτωση που δεν ληφθούν ως εκμεταλλεύσιμο κοιτάσµα τα τμήµατα του κοιτάσµατος µε αυξηµένη περιεκτικότητα σε θείο

Τιμή Πώλησης (σε €)	Απώλειες (σε €)	Ποσοστό Απωλειών
5.000	709.712.627,35	55%
10.417	1.489.688.589,10	50%
15.000	2.149.579.641,85	49%
18.000	2.581.539.746,19	49%

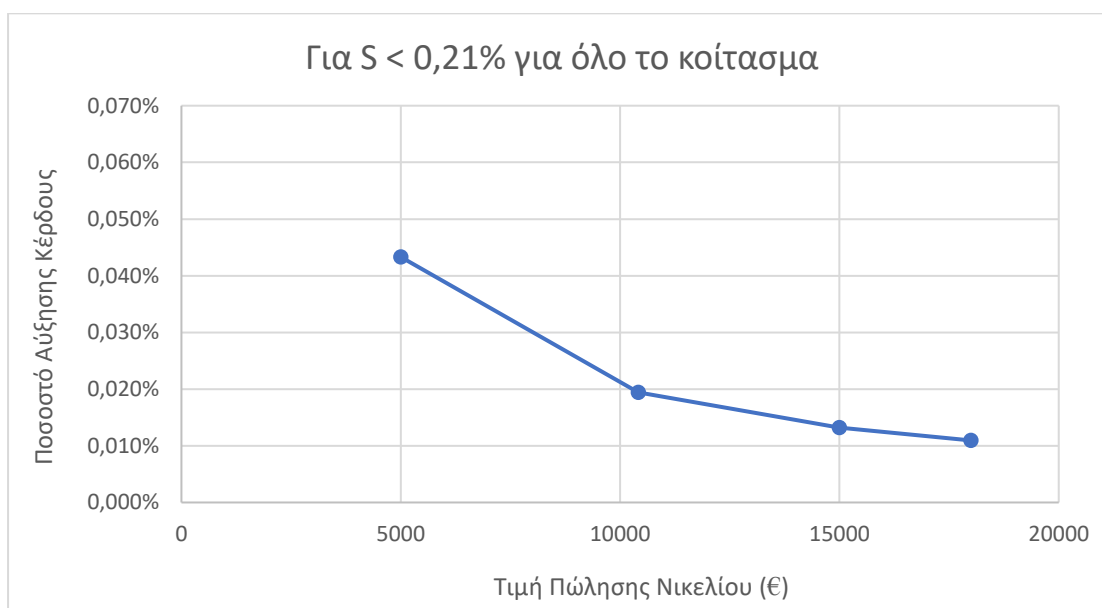
Τέλος, εξετάστηκε τι συμβαίνει στην περίπτωση που δεν υπάρχει το συγκεκριµένο πρόβληµα µε τις υψηλές περιεκτικότητες σε θείο (τρίτη περίπτωση). Σε αυτήν την περίπτωση, το συνολικό κόστος θα µειωνόταν περίπου **865.000 €**, καθώς σε αυτή την περίπτωση δεν απαιτείται η χρήση συλλιπάσµατος, ποσό που αντιστοιχεί σε µία µείωση του συνολικού κόστους της τάξης του **0,32%**. Εποµένως, από τα ποσοστά αυτά, φαίνεται ότι δεν επηρεάζεται σηµαντικά η οικονοµικότητα της εκµετάλλευσης. Μάλιστα, είναι προφανές ότι σηµαντικό ρόλο παίζει και η τιμή πώλησης του νικελίου. Ακόµα και σε µία ιστορική χαµηλή τιμή πώλησης της τάξεως των 5.000 €, η επιβάρυνση είναι της τάξεως του **0,043%**. Όταν η τιμή πώλησης του νικελίου κυµαίνεται σε υψηλά επίπεδα η επιβάρυνση είναι ακόµη χαµηλότερη. Για παράδειγµα, για τιμή πώλησης **18.000 €** η επιβάρυνση είναι της τάξεως του **0,011%**. Σε κάθε περίπτωση όµως το ποσοστό είναι πάρα πολύ µικρό στα επιπλέον κέρδη. Στον

παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά για κάθε τιμή πώλησης τα ποσοστά αύξησης των κερδών:

Πίνακας 7.3: Επιπλέον κέρδη σε περίπτωση που σε όλο το κοίτασμα η περιεκτικότητα σε θείο ήταν κάτω από 0,21%

Τιμή Πώλησης (σε €)	Επιπλέον Κέρδη (σε €)	Ποσοστό Κερδών
5.000	864.724,66	0,043%
10.417	864.724,66	0,019%
15.000	864.724,66	0,013%
18.000	864.724,66	0,011%

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η καμπύλη του ποσοστού αύξησης κέρδους για την εκάστοτε τιμή πώλησης του νικελίου αν όλο το κοίτασμα είχε περιεκτικότητα σε θείο κάτω από 0,21% και δεν χρειαζόταν επιπλέον επεξεργασία.



Διάγραμμα 7.1: Συσχέτιση ποσοστού αύξησης κέρδους και τιμής πώλησης του νικελίου αν όλο το κοίτασμα είχε περιεκτικότητα σε θείο κάτω από 0,21%

Συμπερασματικά, σε καμία περίπτωση δεν μπορούμε να εξαιρέσουμε από την εκμετάλλευση το τμήμα του κοιτάσματος που έχει υψηλές περιεκτικότητες σε θείο και να θεωρήσουμε ότι πρέπει να απορριφθεί στα άγωνα, καθώς σε μία τέτοια περίπτωση ο όγκος των αποθεμάτων μειώνεται σημαντικά. Υπάρχει φυσικά μια επιπλέον επιβάρυνση στο κόστος επεξεργασίας και στο τελικό συνολικό κόστος όμως τα κέρδη είναι αρκετά αυξημένα σε ποσοστό περίπου 50%.

Βιβλιογραφία

Brandl N.W, Butt C.R.M & Elias M. (1998) *Nickel laterites: classification and features*, Australia, AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 17(4),81-88.

Elias, M. (2002) *Nickel laterite deposits-geological overview, resources and exploitation* Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, vol. special Publication 4, pp. 205-220.

Gkoutzioupa K., Alevizos G., Stratakis A., Petrakis E., Apostolikas A. (2016), *Quality Characteristics and Washability Treatment of Nickeliferous Iron Ore of Agios Athanasios Deposit (Kastoria, Greece)*, Geomaterials, 6, 39-49.

Hernandez, F., Nejarda, M. (2013) *DESULPHURIZATION OF CRUDE FERRONICKEL, IDGH SULFUR CONTENT IN LADLE FURNACE*, Almaty, Kazakhstan.

Ki Deok Kim, Hyung Sub Eom, Eun Jin Jung, Wan Wook Huh, Dong Joon Min () *The Study on Sulfur and Nickel Distribution Behavior of Nickel between Fe-Ni alloy and MgO-FeO-SiO₂ Slag System*, Seoul, Korea.

Αποστολίκας, Α. (2010) *Κοιτασματολογία Νικελίου*, Καστοριά, Εκδόσεις Εφύρα.

Βαζούκης Αιμ. (2017), *Συγκριτική μελέτη εμφάνισης σιδηρονικελιούχου μεταλλοφορίας στις περιοχές Αιγάλεω και Νίκαιας Αττικής με τα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα της περιοχής Αγίου Ιωάννη Θηβών*, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα: Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ζαφειρούλη – Βρετού Φ., Πουλοπούλου Ι. (2016) *Εκτίμηση αποθεμάτων και σχεδιασμός εκμετάλλευσης κοιτάσματος σιδηρονικελίου στα μεταλλεία Εύβοιας*, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ζευγώλης, Ε. (2014) *Μεταλλουργία Σιδήρου, Θεωρία και Τεχνολογία*, Αθήνα, Εκδοτικός Όμιλος ΙΩΝ.

Κίλιας, Α., Μουντράκης, Δ. (1989): *Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής. Τεκτονική, μεταμόρφωση και μαγματισμός*, τ.23, σελ. 29-46.

Μενεγάκη, Μ. (2010) *Σημειώσεις του Μαθήματος, Σχεδιασμός Υπαίθριων Εκμεταλλεύσεων*, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

(http://mycourses.ntua.gr/courses/METAL1065/document/notes_surface_mining.pdf)

(Προσπέλαση 8/7/2019)

Μπόσκος, Ε. (-) *Σημειώσεις Πετρολογίας*, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Νέου – Συγκούνα, Π. (-) *Εξαγωγική Μεταλλουργία, Πυρομεταλλουργικές και Υδρομεταλλουργικές Διεργασίες*, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Παπαδημητρίου, Γ. (1993) *Γενική Μεταλλογνωσία II, Τα Κράματα*, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Τριανταφυλλίδης, Στ. (2015) *Κοιτασματολογία*, Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

<http://www.larco.gr/el.nickel.php> (Προσπέλαση 8/7/2019)

<https://www.statista.com/statistik/suche/?q=nickel> (Προσπέλαση 8/7/2019)

<https://www.nickelinstitute.org/about-nickel/> (Προσπέλαση 8/7/2019)

<https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/Nickel#tabIndex=0> (Προσπέλαση 8/7/2019)

<https://www.usgs.gov/science-explorer-results?es=nickel> (Προσπέλαση 8/7/2019)

https://www.world-mining-data.info/?World_Mining_Data (Προσπέλαση 8/7/2019)

<http://www.oryktosploutos.net/search?q=%CE%9B%CE%91%CE%A1%CE%9A%CE%9F> (Προσπέλαση 8/7/2019)

<https://earth.google.com/web/> (Προσπέλαση 8/7/2019)